



ACADEMIA DA FORÇA AÉREA

Implementação de técnicas de Eficiência Energética numa Unidade da Força Aérea

João Miguel Craveiro Estrela

Alferes Aluno, Engenheiro Eletrotécnico, 136817-G

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
**Ciências Militares Aeronáuticas na especialidade de
Engenharia Eletrotécnica**

Júri

Presidente: BGEN/EngAed Joaquim Baptista Veloso

Orientador: Professor João Santos Joaquim

Coorientador: MAJ/EngEl Gonçalo C. F. Beato de Carvalho

Vogal: Professor Doutor João Santana

Sintra, dezembro de 2015

Agradecimentos

O presente trabalho assenta como o culminar de uma etapa, quer a nível profissional, como pessoal. O término destes 6 anos, encerra um importante capítulo de formação e, ao mesmo tempo que inicia a era do trabalho. Com as bases cimentadas, é altura de deitar mãos à obra e cumprir o meu dever.

No entanto, esta conclusão não seria possível de alcançar sozinho.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Santos Joaquim pela colaboração e acompanhamento ao longo do período de escrita. A experiência no ramo de engenharia revelou-se uma mais-valia para o trabalho, tendo todas as críticas e sugestões sido alvo de consideração.

Ao Major Gonçalo Beato, o meu sincero obrigado. A constante colaboração, disponibilidade e acompanhamento prestado desde o início da dissertação, permitiu criar a linha de orientação necessária e fundamental para a realização da dissertação. Todas as sugestões e críticas revelaram-se uma fonte enriquecedora para o trabalho desenvolvido.

Ao Tenente Victor Nunes, o meu obrigado pela total colaboração que desde sempre mostrou. A cooperação em todas as visitas ao CFMTFA, permitiram que estas se tornassem o mais produtivo possível, bem como toda a ajuda prestada na análise de resultados.

Aos Oficiais de Engenharia Eletrotécnica da Direção de Infraestruturas, obrigado por todo o apoio prestado ao longo dos últimos meses.

A todos os Torques pela camaradagem, união e apoio sentidos desde o início. Sem vocês esta luta não seria vencida.

A todos os meus amigos, em especial aos de 90, por todos os momentos em que pude contar com vocês. Sem dúvida, foram sempre um dos pilares que me ajudaram a superar as dificuldades sentidas.

Por fim, a toda a família, em especial aos meus Pais, Mana e Rita pelo constante apoio e preocupação prestados ao longo destes últimos 6 anos. Assumiram-se como pedras basilares na minha formação.

A todos os que contribuíram para o meu sucesso, o meu profundo bem-haja.

Resumo

A energia elétrica assume um papel vital na Sociedade Moderna. O aumento do seu consumo, obriga o aumento de produção. Porém, este aumento acarreta consequências graves para o meio ambiente devido à emissão de gases de efeito de estufa, bem como custos elevados para o aumento ou instalação de geração de potência. Aliado ao avanço da tecnologia, é possível inverter a tendência crescente do consumo energético. Com equipamentos capazes de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de trabalho, ou seja, mais eficientes, é possível adotar novas estratégias energéticas. Ao invés do aumento do consumo de energia elétrica, é possível manter o mesmo resultado através de uma menor parcela de energia.

O cumprimento da missão da Força Aérea, é também possível devido ao emprego de energia, uma vez que se encontra em várias formas dentro do ramo. A possibilidade de diminuir o consumo associado à energia elétrica reveste-se de extrema importância. Uma vez que esta é fulcral para a operacionalidade do ramo, ao seu consumo estão-lhe associados encargos, nos quais há interesse em serem minimizados. Nesta dissertação, constam os resultados da auditoria energética realizada no Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea, tendo sido identificado todo o esquema energético da Unidade. Com efeito, foram caracterizadas as redes de distribuição de gás de petróleo liquefeito e de energia elétrica, desde o fornecimento até ao consumo. Esta identificação permitiu a desagregação do consumo por setor, tendo estes sido ordenados de forma decrescente. Após esta análise, procedeu-se ao levantamento dos equipamentos energéticos.

Com vista em melhorar o desempenho energético da Unidade, foi selecionado uma panóplia de medidas de eficiência energética. Estas compreendem alterações nos hábitos e padrões de consumo, modificações nos aspetos construtivos e técnicos dos edifícios, bem como substituição dos equipamentos atuais por equipamentos mais eficientes. Em suma, são apresentadas as reduções de consumo expectável, permitindo estas estimar a diminuição do consumo e dos encargos de uma forma global.

Palavras-chave: eficiência energética; energia elétrica; diminuição; consumo.

Abstract

The Electrical energy plays a vital role in Modern Society. Its increasing consumption demands a correspondent increase in production, with serious consequences for the global environment - due to the emission of greenhouse gases - and high monetary costs – associated with the construction or enhancement of the infrastructure required for the generation of power. However, exploiting new advancements in technology, it is possible to reverse this trend in energy consumption. With up-to-date standard electrical equipment using less energy in order to produce the same amount of work – hence, more efficient – it is possible to develop and adopt new energy strategies. This way, instead of increasing overall electrical energy consumption – as would be expected – the same outcome can currently be achieved with a smaller portion of energy.

Considering the Portuguese Air Force's mission success dependence on the extensive use of energy – employed in numerous forms within the organization – and the magnitude of the associated costs, the possibility of minimizing electrical energy consumption while maintaining full function becomes of utmost importance. This is central to an efficient operation of the Portuguese Air Force under today's economical climate. This dissertation presents the results of an energy audit performed at the Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA), on which its complete energy scheme has been identified. Both the liquefied petroleum gas and the electrical energy distribution networks were characterized from supply to consumption. This detail study allowed for a compartmentalized analysis of consumption behavior by sector. Finally, a survey of energy equipment was done.

Aiming to improve the energetic performance of the CFMTFA, a myriad of energy efficiency procedures were selected. These include changes in habits and consumption patterns, modifications in construction and technical aspects of buildings and upgrading to more efficient equipment by more efficient equipment. In short, efficient energy employment strategies and expected energy consumption and cost reductions are presented in a comprehensive manner.

Key words: energy efficiency; electrical energy; decrease; consumption.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão de Bibliografia	5
2.1 Energia	5
2.1.1 Conceitos	5
2.2 Energia em Portugal	7
2.3 Consumo Energético na Força Aérea.....	9
2.4 Auditoria Energética.....	12
2.4.1 Recolha de dados documentais e análise dos elementos obtidos	13
2.4.2 Visita às instalações com exame do equipamento.....	14
2.4.3 Análise dos dados recolhidos	14
2.4.4 Elaboração do Relatório de Auditoria.....	15
2.5 Gestor de Energia.....	15
2.6 Certificação Energética.....	16
2.7 Uso da energia nos edifícios.....	17
3. Caracterização do trânsito de potência	23
3.1 Definições	23
3.2 Transmissão de Energia.....	24
3.2.1 Limite térmico	24
3.2.2 Limite de estabilidade de tensão	24
3.3 Cálculo dos parâmetros da linha de transmissão	25
3.4 Perdas na transmissão	28
3.5 Qualidade de Energia Elétrica	30
4. Auditoria Energética ao CFMTFA.....	37
4.1 Caracterização do consumo de energia em edifícios e infraestruturas	37
4.2 Descrição da Rede de Distribuição de Gás de Petróleo Liquefeito no CFMTFA	38
4.3 Descrição da Rede de Distribuição de Energia Elétrica no CFMTFA	39
4.4 Consumo de EE	41
4.5 Energia Reativa	49
4.5.1 Fator de Potência.....	50
4.5.2 Análise Real	53

4.6	Climatização	55
4.6.1	Aquecimento	55
4.6.2	Ventilação.....	56
4.6.3	Sistema Solar Termodinâmico	56
5.	Eficiência Energética.....	59
5.1	Casos de Sucesso.....	59
5.2	Estudo de caso	60
5.2.1	Medidas de Gestão	60
5.2.2	Medidas Ativas e de Autoconsumo	61
5.2.3	Medidas passivas	64
5.2.4	Medidas Comportamentais	66
5.2.5	Análise económica Gás Petróleo Liquefeito vs Energia Elétrica	68
6.	Recomendações.....	71
6.1	Repartição de Qualidade de Energia.....	71
6.2	Sistemas de micro e miniprodução	71
6.2.1	Poste Híbrido	72
6.2.2	<i>LucidPipe Power System</i>	72
6.3	Guia de Implementação	73
6.4	Substituição de equipamentos a GPL por EE.....	73
7.	Conclusões.....	75
	Referências Bibliográficas	79
	Anexo A	83
	Anexo B	85
	Anexo C	87
	Anexo E	95
	Anexo F	97
	Anexo G.....	99
	Anexo H.....	101

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Balanço energético [10].....	6
Figura 2.2 - Comparação da evolução do IEE em Portugal e na UE-28 [14]	8
Figura 2.3 - Percentagem de consumo de EE nacional por setores, em 2013 [11]	8
Figura 2.4 - Evolução do consumo de EE nas U/O/S da FA (CLAFA/DI)	9
Figura 2.5 - Evolução dos encargos com EE nas U/O/S da FA (CLAFA/DI)	10
Figura 2.6 - Intensidade Energética nas U/O/S da FA em 2014 (CLAFA/DI e CPESFA/DP)..	10
Figura 2.7 - Intensidade Energética nas estações de radar da FA em 2014 (CLAFA/DI e CPESFA/DP).....	11
Figura 2.8 - Comparação entre os consumos e encargos com a EE na FA (CLAFA/DI)	12
Figura 3.1 - Triângulo retângulo de potência.....	23
Figura 3.2 - Sistema com dois barramentos e um gerador e duas cargas	28
Figura 3.3 - Tipos de perturbações temporárias [37]	32
Figura 3.4 - Curva CBEMA [37]	33
Figura 3.5 - Aumento do aquecimento nos motores vs fator de desequilíbrio [39]	34
Figura 4.1 - Consumo de energia nos alojamentos em Portugal [43]	37
Figura 4.2 - Estimativa do consumo de energia nos edifícios residenciais por utilização final nos EUA em 2015 [44].....	38
Figura 4.3 - Comparação entre os Consumos e Encargos com GPL (CLAFA/DI)	39
Figura 4.4 - Rede de distribuição de EE no CFMTFA.....	40
Figura 4.5 - Consumo de EE no CFMTFA em 2013 e 2014 (CLAFA/DI)	41
Figura 4.6 - Diagrama de carga (5 a 11 de janeiro de 2015) (CLAFA/DI).....	42
Figura 4.7 - Diagrama de carga semanal por PT (5 a 11 de janeiro de 2015) (CLAFA/DI).....	42
Figura 4.8 - Diagrama de carga diário - 8 de janeiro de 2015 (CLAFA/DI).....	43
Figura 4.9 - Desagregação do consumo no PT1 (CLAFA/DI)	44
Figura 4.10 - Desagregação do consumo no PT2 (CLAFA/DI).....	45
Figura 4.11 - Desagregação do consumo no PT3 (CLAFA/DI).....	46
Figura 4.12 - Consumo Total de EE desagregado (01 de maio de 2014 a 01 de maio de 2015).....	47
Figura 4.13 - Distribuição dos setores que serão alvo de intervenção	49
Figura 4.14 - Esquema de compensação de Energia Reativa [51]	50
Figura 4.15 - Compensação do fator de potência.....	51
Figura 4.16 - Encargo com EE no CFMTFA em 2013 e 2014 (CLAFA/DI)	52
Figura 5.1 - Evolução dos encargos de GPL e EE (2008 a 2014) (CLAFA/DI)	68
Figura 5.2 - Encargos com EE e GPL (março a julho) (CLAFA/DI).....	69
Figura 6.1 - Poste Híbrido [70]	72
Figura 6.2 - <i>LucidPipe Power System</i> [71].....	73

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Fatores que influenciam o consumo de energia num edifício	18
Tabela 2.2 - Parâmetros de seleção de lâmpadas [26] (adaptado).....	21
Tabela 3.1 - Sumário dos parâmetros das linhas	28
Tabela 3.2 - Perdas nas linhas em cada mês.....	29
Tabela 3.3 - Classificação de harmônicas	34
Tabela 4.1 - Barramentos que alimentam as cargas alvo de intervenção	48
Tabela 4.2 - Banco de Baterias de Condensadores no CFMTFA.....	52
Tabela 4.3 - Período Horário de entrega de EE [53]	53
Tabela 4.4 - Escalões de faturação	54
Tabela 4.5 - Banco de Baterias de Condensadores para compensação	55
Tabela 5.1 – Levantamento de equipamentos	61
Tabela 5.2 - Medidas a implementar na Messe de Alunos.....	61
Tabela 5.3 - Medidas na Iluminação	63
Tabela 5.4 - Medidas Passivas por Setor.....	66
Tabela 5.5 - Medidas Comportamentais por Setor	67
Tabela 5.6 - Total de Medidas por Setor	67

Lista de acrónimos

AC	Ar Condicionado
AFA	Academia da Força Aérea (Sintra)
AM1	Aeródromo de Manobra n.º 1 (Maceda - Ovar)
AM3	Aeródromo de Manobra n.º 3 (Porto Santo)
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
AQS	Água Quente Sanitária
AT	Alta Tensão
AT1	Aeródromo de Trânsito n.º 1 (Figo Maduro)
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BA1	Base Aérea n.º 1 (Sintra)
BA4	Base Aérea n.º 4 (Lajes)
BA5	Base Aérea n.º 5 (Monte Real)
BA6	Base Aérea n.º 6 (Montijo)
BA11	Base Aérea n.º 11 (Beja)
BALUM	Base do Lumiar (Lisboa)
CC	Corrente Contínua
CFMTFA	Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (Ota)
CFO/RC	Curso de Formação de Oficiais do Regime de Contrato
CFP/RC	Curso de Formação de Praças do Regime de Contrato
CFS/QP	Curso de Formação de Sargentos dos Quadros Permanentes
CLAFA	Comando da Logística da Força Aérea
COP	Coeficiente de Desempenho (<i>Coefficient Of Performance</i>)
CPEEFR	Centrais de Produção de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis
CPESFA	Comando de Pessoal da Força Aérea

CT	Campo de Tiro (Alcochete)
DFFA	Direção de Finanças da Força Aérea
DGMFA	Depósito Geral de Material da Força Aérea (Alverca)
DI	Direção de Infraestruturas
DP	Direção de Pessoal
EDP	Energias de Portugal
EE	Energia Elétrica
EMB	Esquadra de Manutenção de Base
EMMET	Esquadra de Manutenção de Material Elétrico de Terra
EMGFA	Estado-Maior General das Forças Armadas
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
Ep	Energia Ativa
EPS	Poliestireno Expandido Moldado
Eq	Energia Reativa
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ER1	Estação de Radar n.º 1 (Fóia)
ER2	Estação de Radar n.º 2 (Pilar)
ER3	Estação de Radar n.º 3 (Montejunto)
ER4	Estação de Radar n.º 4 (Pico do Areeiro)
EUA	Estados Unidos da América
FA	Força Aérea
GAEMFA	Grupo de Apoio ao Estado-Maior da Força Aérea
GG	Grupos Geradores
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GWh	Gigawatt-hora
HFA	Hospital da Força Aérea (Lumiar - Lisboa)
HFAR	Hospital das Forças Armadas (Lumiar - Lisboa)

IE	Intensidade Energética
IEE	Intensidade Energética da Economia
INE	Instituto Nacional de Estatística
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
LED	Díodo Emissor de Luz (<i>Light Emitting Diode</i>)
M€	Milhões de euros
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
MWh	Megawatt-hora
NZEB	Edifício de Balanço de Consumo Zero (<i>Net Zero-Energy Buildings</i>)
P	Potência Ativa
PIB	Produto Interno Bruto
PM210	<i>Power Meter 210</i>
PM710	<i>Power Meter 710</i>
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PT	Posto de Transformação
Q	Potência Reativa
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
R	Resistência
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REN	Redes Energéticas Nacionais
RQS	Regulamento de Qualidade de Serviço
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
S	Potência Aparente
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade de Ar Interior nos Edifícios
SST	Sistema Solar Termodinâmico
THD	Taxa de Distorção Harmónica
T&D	Transporte e Distribuição
UAL	Unidade de Apoio de Lisboa
UE-28	União Europeia com 28 Estados Membros
u_u	Fator de Desequilíbrio das Tensões
U/O/S	Unidades, Órgãos e Serviços
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
V	Volt
V_{RMS}	Valor Médio Eficaz da tensão
VA	Volt-Ampere
var	Volt-Ampere Reativo
X	Reatância
Z	Impedância

1. Introdução

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e energia atômica: a vontade.”
Albert Einstein (1879-1955)

1.1. Enquadramento

Atualmente, Portugal é um país com défice energético uma vez que não possui recursos energéticos endógenos em quantidade suficiente para satisfazer as suas necessidades energéticas. Esta escassez implica a necessidade de importar energia primária (carvão, petróleo e gás natural) e também eletricidade, as quais representaram uma taxa de dependência energética do país de 73.9% em 2013 [1]. Em face deste valor, Portugal classifica-se como um país dependente a nível energético.

Assim torna-se necessário conseguir produzir mais energia com menos recursos, por forma a que o consumo seja satisfeito. Ao longo do tempo, o consumo de energia primária tem vindo a diminuir, na medida em que a potência instalada das centrais de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis (CPEEFR) vem aumentando, representando estas centrais 61.3% da potência total no nosso país. No entanto, a energia produzida por estas fontes é de apenas 57.7%, sendo a restante produzida a partir das centrais térmicas e centrais de ciclo combinado [2]. Reforça-se a ideia de que Portugal está muito dependente do exterior, sendo importador maioritariamente de petróleo bruto de Angola [3] e gás natural oriundo da Argélia e Nigéria [4].

Em 2014, as fontes renováveis foram o principal produtor de energia elétrica (EE) satisfazendo 62.7% do consumo em Portugal Continental, sendo os maiores contribuidores a grande hídrica¹ com 29.4% e a eólica com 23.7%. No entanto os restantes 35.5% são provenientes da geração térmica, resultando num saldo importador de 1.8% [5].

O Estado como entidade patronal deve ser o exemplo a seguir, de maneira a promover e a sensibilizar todos os cidadãos no que concerne à gestão racional da EE. É neste contexto que o Governo criou em 1994 o “Programa Energia”², com o objetivo de diminuir a dependência energética do exterior. Com vista em atingir as metas que lhe foram fixadas no âmbito do Protocolo de Quioto de 1997 foi adotado em 2004 o “Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC)”³. No entanto as medidas que à época eram tidas como adequadas, revelaram-se insuficientes conduzindo à sua subsequente revisão em 2006⁴ e 2008⁵.

As grandes diretrizes para o setor da energia encontram-se configuradas na “Estratégia Nacional para a Energia (ENE)”⁶ onde se perspetivam os grandes objetivos de reduzir a dependência energética face ao exterior, aumentar a eficiência energética, reduzir o custo da energia e aumentar a qualidade de serviço.

Na mesma linha de orientação e com a imposição por parte do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de abril, através da Diretiva n.º 2006/32/CE, cada Estado membro é obrigado a apresentar um plano de ação para a eficiência energética, que vise a estabelecer no mínimo 1% de poupança de energia por ano até 2016. Neste sentido

¹ Potência instalada superior a 10 MW

² Decreto-Lei n.º 195/94, de 19 de julho

³ Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de julho

⁴ Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de agosto

⁵ Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de janeiro

⁶ Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de outubro

foi aprovado o “Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015 (PNAEE)”⁷ que reforça a ambição e coerência das políticas de eficiência energética previstas no PNAC 2006 e no ENE.

Desta forma, os esforços direcionam-se numa política que pretende conduzir à diminuição do consumo energético sem descurar o conforto por ele proporcionado, de maneira a que Portugal se torne num país independente e autossustentável em termos energéticos. De acordo com PNAEE, a política energética tem como objetivo a redução da dependência energética através do aumento racional da contribuição das energias renováveis endógenas e o aumento da eficiência energética do país.

Com vista a reduzir a dependência energética face ao exterior, um reforço da potência instalada das CPEEFR pode figurar-se como uma solução. No entanto, esta solução implica um investimento vultuoso, causa demasiado impacto ambiental e visual e pode nem sequer cobrir a totalidade da demanda devido ao caráter aleatório.

De forma a assegurar a posição de Portugal entre os cinco líderes europeus ao nível dos objetivos em matéria de energias renováveis, procedeu-se recentemente à atualização da “Estratégia Nacional para a Energia (ENE2020)”⁸ que visa num horizonte de 2020, entre outras medidas, reduzir 20% o consumo de energia final, através da *“aposta em medidas comportamentais e fiscais, assim como em projetos inovadores, (...) a otimização dos modelos de iluminação pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços.”*

Neste contexto cada vez mais se pode afirmar que “A Eficiência Energética é a primeira e mais importante fonte renovável de que dispomos atualmente” [6].

Entende-se por *Eficiência Energética* a capacidade de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de trabalho, iluminação, aquecimento, transporte e outros serviços baseados na energia [7].

A Eficiência Energética assume-se assim como palavra-chave em discussões que dizem respeito a reduções do consumo elétrico, destacando-se a nível global nas discussões sobre políticas mundiais de energia e do meio ambiente, nomeadamente nas políticas relacionadas com as mudanças climáticas.

1.2. Objetivos

A elaboração desta dissertação tem como objetivo principal dirigir um estudo no âmbito da eficiência energética numa Unidade da Força Aérea (FA), de maneira a que o resultado traduza uma diminuição do consumo de EE e uma consequente redução de encargos. Para tal, são analisados os consumos de maneira a permitir o estudo de cariz técnico e financeiro de técnicas de eficiência energética, culminando com uma estimativa de poupança energética anual que possa ser alcançada através da implementação de medidas específicas, bem como o investimento a elas associado.

A Unidade em estudo será o Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) situado na freguesia da Ota, concelho de Alenquer, distrito de Lisboa. A escolha deve-se ao facto de atualmente a Unidade ter instalado equipamento de monitorização do consumo de EE em tempo real. Desta forma, torna-se possível analisar os padrões de consumo naquela Unidade, através da obtenção contínua de diagramas de cargas, o que permite atuar num rumo que vise à sua diminuição.

Pretende-se demonstrar que através de mudanças nos padrões de utilização, nos hábitos de consumo, nos aspetos técnicos e numa possível substituição de equipamentos, será possível atingir metas que visem a redução

⁷ Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio

⁸ Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de abril

da energia útil. A tomada de consciência desta possibilidade por parte de todos os consumidores é o ponto de partida para que o objetivo principal seja cumprido.

De maneira a avaliar a efetividade da eficiência energética como uma política energética, os objetivos específicos da dissertação são:

- Análise de toda a conjuntura energética no CFMTFA;
- Análise das características dos edifícios;
- Caracterização dos setores de maior consumo;
- Identificar possíveis perdas na distribuição de Energia;
- Minimizar o consumo de Energia Reativa;
- Identificação de medidas conducentes à melhoria da classe energética;
- Recomendação de futuros estudos;
- Guia base de medidas passíveis de implementação.

Com este propósito, espera-se diminuir o consumo energético no CFMTFA e por conseguinte os encargos a ele associados, permitindo canalizar os recursos para outras vertentes, catapultando a organização para uma filosofia de exploração das instalações mais eficiente e sustentável do ponto de vista energético. Numa escala global, a diminuição do consumo auxiliará Portugal no cumprimento das metas impostas pela Comissão Europeia, diminuindo a dependência externa de energia e, em última instância, contribuirá para que se caminhe para um planeta melhor.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos. O primeiro capítulo enquadra o leitor com o panorama energético nacional, enunciando alguma legislação relativa à temática energética, bem com os respetivos objetivos propostos.

No capítulo 2 é feita a revisão da bibliografia, introduzindo conceitos como auditoria energética, gestor de energia e certificação energética. São analisadas as formas como a energia é consumida em Portugal face ao cenário europeu, bem como a nível interno na FA. Passando o plano de atuação pelos edifícios, é caracterizada a forma como a energia é empregue nos mesmos.

O capítulo 3 reserva-se para a caracterização do trânsito de energia entre postos de transformação, aferindo a existência, ou não, de perdas de transmissão nos cabos de distribuição. A qualidade de energia elétrica é analisada na secção final deste capítulo.

A auditoria energética feita ao CFMTFA e a caracterização das redes de distribuição são apresentadas no capítulo 4, onde se analisam alguns diagramas de carga, bem como se desagregam consumos por setor, permitindo identificar os pontos-chave de atuação. São identificados os setores a intervir, priorizando-os de forma decrescente. É introduzido o conceito de fator de potência, bem como se analisa o consumo de energia reativa na Unidade, realçando a importância da sua compensação, através do calculado do encargo inerente ao seu consumo. É dimensionado um sistema compensação do fator de potência, permitindo comparar com o sistema existente.

Após a análise dos setores de consumo, da quantificação e evolução dos consumos nesses setores e do estudo das implicações das possíveis soluções, é possível apresentar soluções que visem a diminuição do consumo na Unidade. Estas medidas são descritas no capítulo 5 e divididas nas classes de:

- a) Medidas de Gestão;
- b) Medidas Ativas e de Autoconsumo;
- c) Medidas Passivas.

Neste capítulo é ainda analisada a viabilidade da substituição de equipamentos consumidores de gás de petróleo liquefeito por energia elétrica.

Ao longo do período de estudo foram ainda identificados vários cenários de atuação que podem contribuir para o aumento da eficiência energética na Unidade, sendo por isso apresentadas no capítulo 6 algumas recomendações que poderão vir a ser desenvolvidas.

As conclusões da dissertação reservam-se para o capítulo final, onde é feita uma síntese das conclusões e medidas propostas nesta dissertação.

2. Revisão de Bibliografia

*“Apostar na eficiência energética e nas energias renováveis
é apostar na economia, no conforto, na saúde,
no combate às alterações climáticas e,
em última análise, no nosso planeta.”*
Certificação Energética (2015)

Neste capítulo é feita uma introdução à temática energética explicando o cenário energético nacional, e particularizando para o caso da Força Aérea. São definidos os conceitos de energia e intensidade energética, sendo apresentados dados relativos ao consumo dos vários tipos de energia a nível nacional. Define-se também o conceito de Auditoria Energética e introduz-se a figura do Gestor de Energia. É ainda abordado o uso de energia nos edifícios, apresentando-se medidas que conduzem à redução do seu consumo.

2.1 Energia

2.1.1 Conceitos

A energia assume-se como uma componente crítica que afeta o quotidiano do Homem, desde o transporte à comunicação, da indústria alimentar aos serviços médicos [7]. Segundo Jesus [8], é possível converter a energia em várias formas, salientando-se a conversão de energias mecânica e térmica em EE. Porém, o rendimento da conversão de energia térmica em EE depende da diferença de temperatura entre o fluido de trabalho do sistema e o meio circundante, resultando em rendimentos inferiores a 100%.

Para perceber todo o processo de obtenção, transformação, transporte e utilização da energia, esta é catalogada em quatro tipos: primária, final, útil e produtiva.

Segundo Freire [9], a **energia primária** corresponde à energia total existente no recurso energético antes de ser sujeito a qualquer tipo de processo de transformação. Englobam-se vários recursos energéticos, tais como o renovável, fóssil, mineral ou resultado de outros resíduos, bem como as perdas inerentes aos processos de transformação.

A **energia final** representa a energia que após processos de transformação a montante e posterior distribuição, é recebida pelo consumidor para utilização final. Em termos comerciais, este é o valor que é medido nos contadores colocados à entrada das instalações.

Relativamente à **energia útil**, esta depende diretamente do rendimento dos equipamentos que consomem a energia final, resultando num valor inferior. Tomando o caso de uma lâmpada, a luz visível emitida por esta é considerada a energia útil, enquanto que a EE consumida representa a energia final.

Em suma, para se chegar ao propósito da utilização ou à chamada **energia produtiva**, são necessários vários processos de transformação, sendo o papel do Homem fundamental para mitigar as perdas associadas.

O balanço energético e as respetivas etapas encontram-se esquematizadas no diagrama de Sankey (figura 2.1).

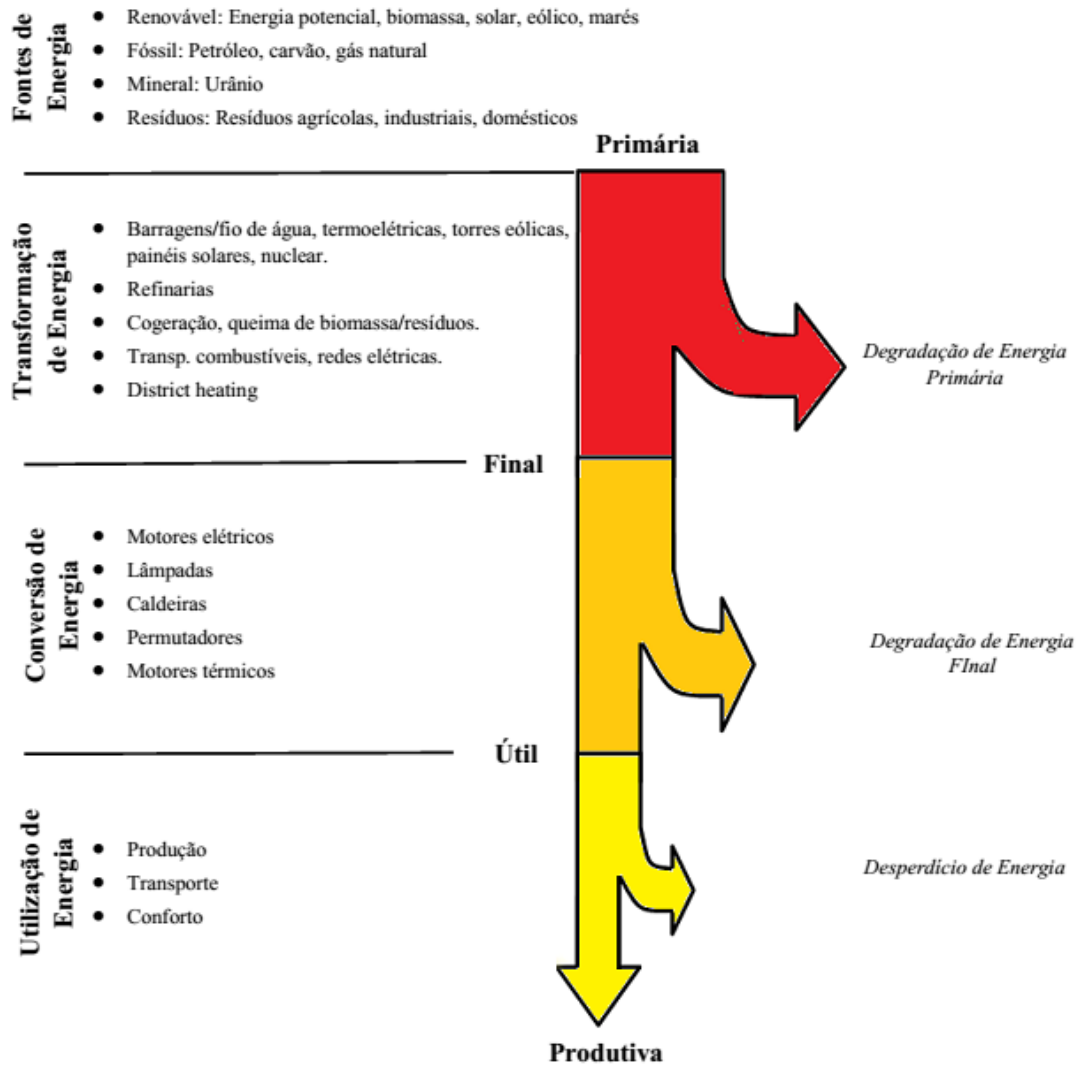


Figura 2.1 - Balanço energético [10]

Um indicador que relaciona a economia com a energia é o termo Intensidade Energética da Economia (IEE). Este mede os consumos energéticos de um país face à riqueza gerada. Relaciona o consumo interno bruto de energia com o Produto Interno Bruto (PIB) produzido, medindo a quantidade de energia necessária para produzir uma certa quantidade de riqueza. Um outro significado atribuído a Intensidade Energética (IE) $IE = \text{Watt hora} / \text{utilizador}$, refere-se à captação do consumo de energia.

Estes indicadores são de elevada utilidade quando se pretende comparar, por exemplo, a eficiência energética entre países. Desta forma, uma IEE elevada representa um custo elevado na conversão de energia em produção, refletindo uma eficiência energética baixa, uma vez que é necessária uma maior quantidade de energia para produzir uma unidade de riqueza.

2.2 Energia em Portugal

Associado ao consumo de energia está a indústria, que por sua vez é a fonte primária de riqueza de um país. Entre o ano de 2000 e 2013, houve um aumento de 18.8% [11] do consumo de EE, resultando direta e indiretamente num aumento de 90% do PIB nacional [12]. No mesmo período registou-se um aumento de 4% em relação à IE, uma vez que o consumo nacional aumentou em torno dos 16%.

A aplicação das tecnologias solar e eólica são as que maior impacto provocaram no aumento do PIB, uma vez que existe atualmente indústria fabril instalada em Portugal, que apostando na investigação e desenvolvimento têm acompanhado o crescimento mundial destes setores. Na indústria, o consumo de EE tem vindo a aumentar nos últimos anos, contribuindo para o aumento do PIB. Desta forma, é passível de se afirmar que o crescimento económico está associado ao aumento do consumo de EE.

Como referido anteriormente, Portugal é um país com forte dependência externa a nível energético, encontrando-se acima da média da União Europeia com 28 Estados Membros (UE-28), a qual apresentava uma dependência externa em 2013 de 53.2% no que concerne às importações energéticas [13]. No mesmo ano e no cenário nacional, o saldo importador de produtos energéticos foi de 6 232 M€, o que resultou uma melhoria de 12.8% face ao ano anterior. A nível de EE, importou-se menos 37% face a 2012 [3]. Esta redução deveu-se ao aumento da produção de EE a partir de fontes renováveis, passando de 30.9% em 2000 para 57.7% em 2013. No entanto, o consumo de EE representa apenas 26% da energia final consumida a nível nacional, sendo o consumo de petróleo a maior parcela [1].

De acordo com um estudo realizado pela Deloitte para a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), entre 2013 e 2030 prevê-se um aumento em torno dos 52% de energia proveniente de fontes renováveis. Este aumento terá um impacto significativo na nossa economia, pois para além dos empregos que direta e indiretamente se poderão criar, representa ainda economias na casa dos 37 000 M€ em importações de combustíveis fósseis para a produção de EE.

Em termos de IEE, Portugal apresenta um índice de maior valor que o da média da UE-28, mostrando que a eficiência energética de Portugal fica aquém da média dos países europeus. A evolução deste indicador poderá depender do consumo interno bruto de energia, do PIB, ou de ambos. Aquando a comparação da IEE entre países é necessário ter em consideração estes dois parâmetros.

No contexto europeu, Portugal encontra-se a meio da tabela, sendo o 17º país com o IEE mais elevado, seguido da Grécia. O PIB e as importações de energia primária destes dois países são da mesma ordem de grandeza, daí resultar uma variação de décimas relativamente ao IEE.

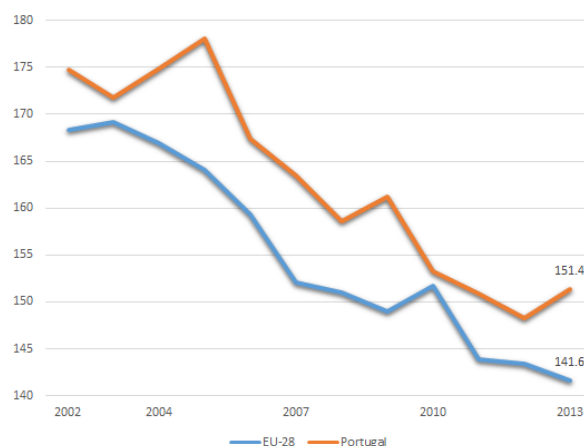


Figura 2.2 - Comparação da evolução do IEE em Portugal e na UE-28 [14]

O indicador IEE apresentou o seu pico em 2005, apresentando desde então tendências decrescentes. Isto deve-se ao facto de nos anos seguintes o consumo de energia primária ter vindo a diminuir, contrariamente ao PIB que tem vindo a aumentar no mesmo período.

Comparando com a UE-28, Portugal acompanha ao mesmo ritmo o crescimento do PIB, bem como o aumento do consumo de energia. No entanto, verifica-se que Portugal apresenta sempre valores superiores à média da UE-28.

Desta forma, os esforços a nível energético devem centrar-se numa vertente na qual o nosso potencial seja explorado ao máximo, permitindo assim dar um uso racional à energia. Uma das formas de reduzir o IEE passa pela redução do consumo de energia, mantendo ou aumentando o valor acrescentado para a mesma quantidade de energia. Uma diminuição do consumo passa por aumentar a eficiência energética em todos os setores.

Jorge Moreira da Silva, Ministro do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia do XIX Governo Constitucional de Portugal, afirmou que o Governo tem "*uma nova visão que passa por tornar Portugal autónomo*" em termos de energia e "*um líder mundial na área da economia verde*" [15]. Para que esta ambição se concretize é necessário começar por fazer levantamentos dos consumos energéticos nacionais, de maneira a possibilitar a atuação nos setores mais relevantes.

A nível nacional, o consumo de EE encontra-se distribuído da seguinte forma:

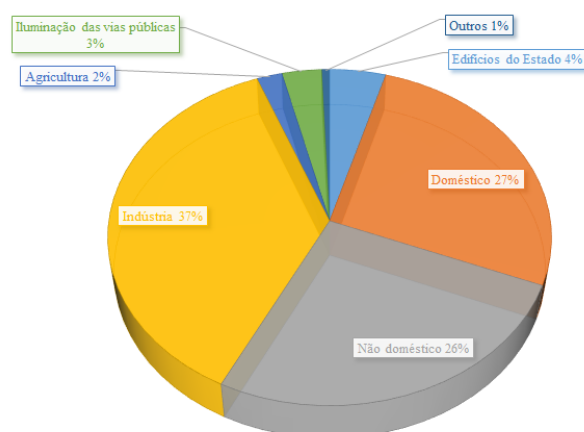


Figura 2.3 - Percentagem de consumo de EE nacional por setores, em 2013 [11]

Através da análise do gráfico, conclui-se que em 2013 o maior consumidor foi o setor da indústria, seguido do setor doméstico e do consumo não-doméstico. Os edifícios do Estado representam cerca de 4% do consumo total nacional de EE. Os edifícios alvo de análise nesta dissertação estão incluídos neste setor.

De acordo com a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), prevê-se que em 2015 o consumo total de EE aumente cerca de 1.7% relativamente a 2013 [16]. Esta evolução deveria ter o declive contrário, uma vez que se pretende atingir as metas impostas pela Comissão Europeia no que visa a redução do consumo energético em 20% até 2020.

2.3 Consumo Energético na Força Aérea

A FA, como ramo independente das Forças Armadas, integra o sistema de forças nacional, tendo como missão principal a cooperação na defesa da República [17]. Para que seja possível realizar operações aéreas que visem a defesa do espaço aéreo nacional, a energia assume-se como fator essencial na missão.

A energia na FA encontra-se presente no combustível para viaturas terrestres, aeronaves, grupos geradores, caldeiras e equipamento de hotelaria, por forma a produzir trabalho ou calor. A aquisição de combustíveis e lubrificantes no ano de 2014 representou cerca de 7.5% do orçamento da FA, sendo que 1% é referente ao consumo de gás de petróleo liquefeito (GPL) e diesel [18].

Para toda a panóplia de equipamentos elétricos é consumida EE, sendo que esta representou no ano de 2014, 1% do orçamento da FA [18]. De acordo com a figura 2.4, é possível analisar os consumos anuais de EE em todas as Unidades, Órgãos e Serviços (U/O/S) da FA:

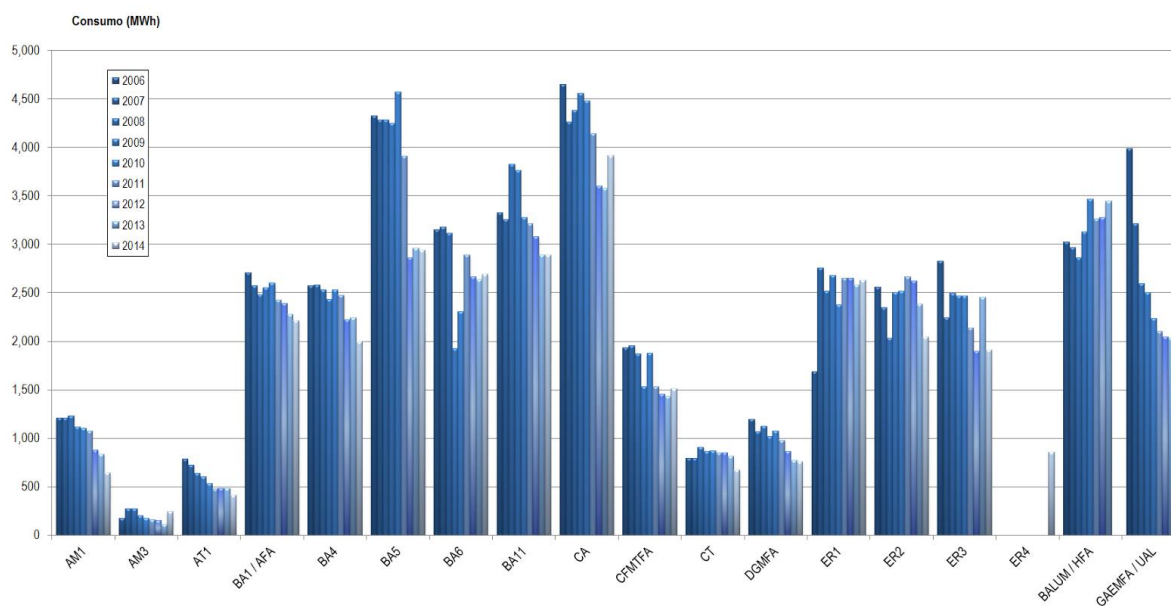


Figura 2.4 - Evolução do consumo de EE nas U/O/S da FA (CLAFA/DI)

Os encargos inerentes ao consumo deste tipo de energia encontram-se ilustrados graficamente na figura 2.5.

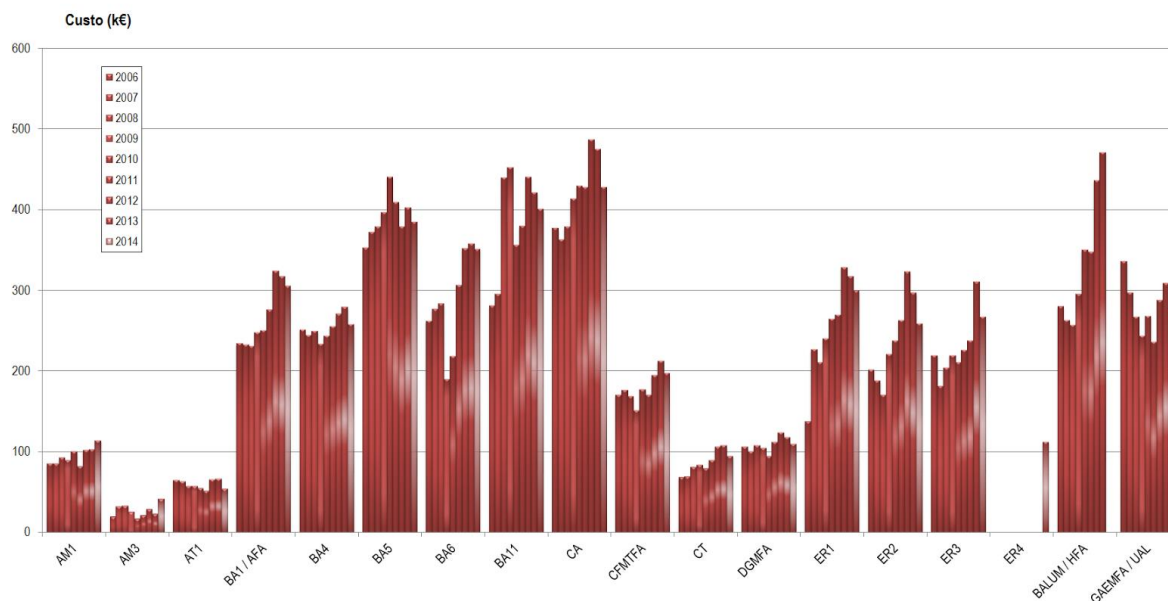


Figura 2.5 - Evolução dos encargos com EE nas U/O/S da FA (CLAFA/DI)

As figuras 2.4 e 2.5 ilustram o consumo em MWh e os respectivos encargos nas diversas U/O/S da FA, respetivamente. Em termos de IE, referente ao consumo de EE nas diversas U/O/S da FA, para o ano de 2014, obtém-se a seguinte figura:

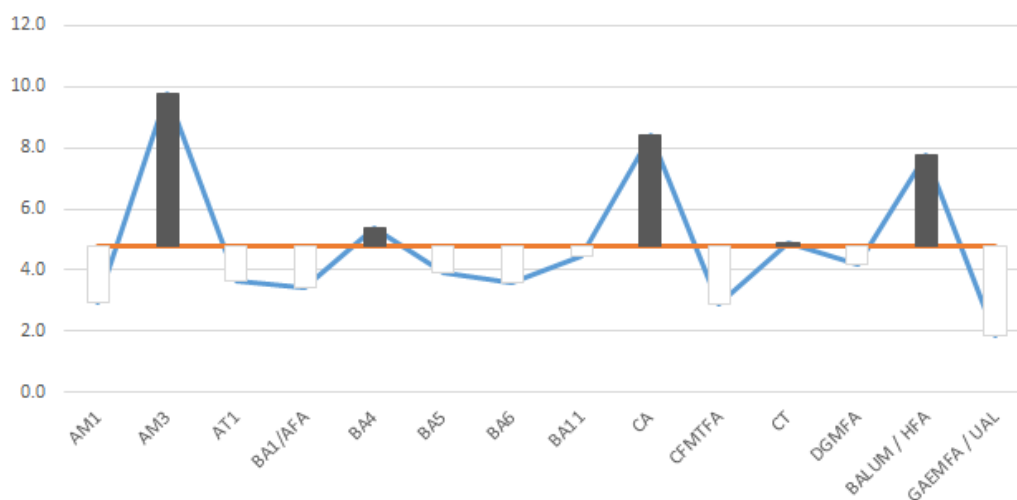


Figura 2.6 - Intensidade Energética nas U/O/S da FA em 2014 (CLAFA/DI e CPESFA/DP)

O registo dos consumos relativos à Base do Lumiar/Hospital da Força Aérea (BALUM/HFA) termina no ano de 2013, uma vez que em 2014 passou para a tutela do Estado-Maior General das Forças Armadas (EMGFA) passando a denominar-se Hospital das Forças Armadas (HFAR).

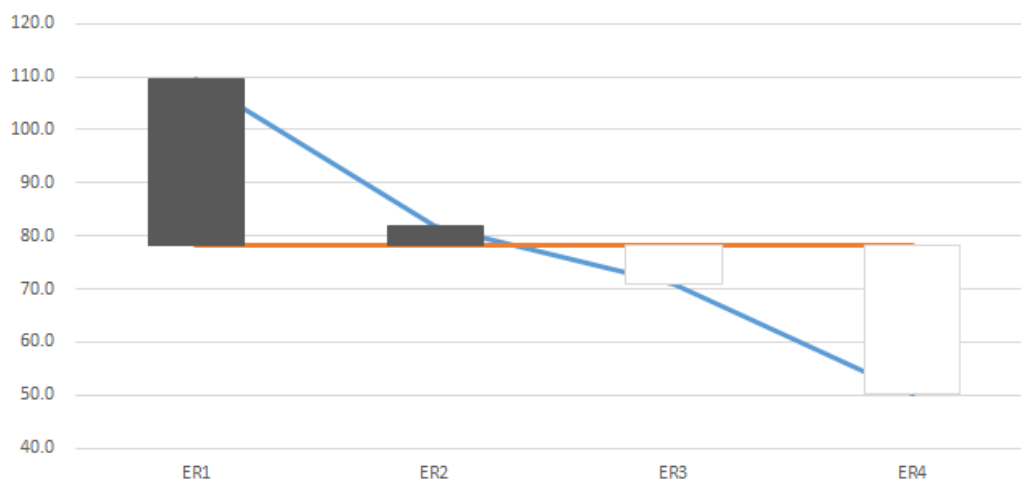


Figura 2.7 - Intensidade Energética nas estações de radar da FA em 2014 (CLAFA/DI e CPESFA/DP)

Verifica-se que existe uma grande discrepância entre a IE nas estações de radar e as restantes U/O/S da FA, tendo-se optado por efetuar a sua análise em separado. O Comando Aéreo (CA), o Aeródromo de Manobras n.º 3 (AM3) e a BALUM/HFA apresentam o maior afastamento relativamente à média da IE na FA. No caso do CA, bem como nas estações de radar existem equipamentos críticos, de elevada potência instalada, que necessitam funcionar ininterruptamente, com recurso ao consumo de EE, por forma a garantir a constante vigilância do espaço aéreo nacional, o que justifica o elevado consumo e a diferença relativamente à média. Acresce que nas estações de radar, aquele equipamento é operado por um número reduzido de militares, sendo este o fator diferenciador no cálculo da IE. No AM3 observa-se a mesma situação, apesar de o consumo de EE não ser da mesma ordem de grandeza que nas estações de radar.

A discrepância relativamente à BALUM/HFAR deve-se à existência de uma vasta gama de equipamento hospitalar com elevada potência unitária. O controlo da qualidade do ar interior, nomeadamente da temperatura ambiente entre outros fatores, origina o consumo elevado de EE, uma vez que se trata de uma instalação hospitalar, na qual existem padrões rigorosos intrínsecos a respeitar. Acresce ainda que devido ao carácter aleatório dos utentes do hospital, estes não foram contabilizados para o cálculo da IE.

Em relação às outras U/O/S, estas apresentam uma IE abaixo da média. Um dos fatores que influencia este valor deve-se ao número elevado de militares colocados nessas U/O/S, possibilitando o uso de energia a nível global. A título de exemplo, uma lâmpada a iluminar uma sala com uma pessoa, consome a mesma energia se estiver a iluminar uma sala com ocupação de 100 pessoas. Por outro lado, é mais suscetível existir utilização incorreta de energia, originando eventuais desperdícios. Desta forma, medidas que afetem diretamente o padrão de consumo dos utilizadores poderão vir a ter mais impacto na redução global.

O Grupo de Apoio ao Estado Maior da Força Aérea/Unidade de Apoio de Lisboa (GAEMFA/UAL) destaca-se pelo facto de ter reduzido o seu consumo em cerca de 51% durante o período de análise. Esta redução, resulta em parte de medidas de racionalização de consumo que foram implementadas, nomeadamente a instalação de sensores de movimento nas instalações sanitárias e ajuste do *setpoint* dos sistemas de aquecimento e de climatização [19]. Este é um caso de sucesso onde medidas de eficiência energética mostraram ser eficazes e vantajosas do ponto de vista técnico e financeiro.

Relativamente aos encargos, não é possível afirmar que a redução do consumo e a diminuição dos encargos com a EE sejam diretamente proporcionais.

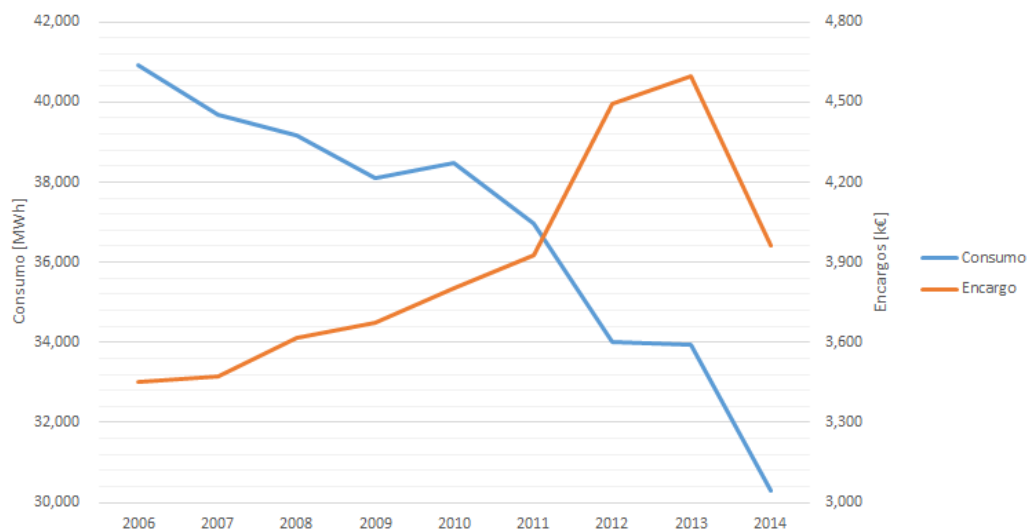


Figura 2.8 - Comparação entre os consumos e encargos com a EE na FA (CLAF/DI)

A figura 2.8 permite analisar com rigor a evolução do consumo e respetivos encargos com a EE numa perspetiva global. Verifica-se que excetuando o ano de 2010, houve sempre uma diminuição do consumo face ao ano anterior, tendo havido uma redução de 35% entre 2006 e 2014. Em contrapartida, os encargos com a EE aumentaram sempre até 2013. Apenas no ano de 2014 se alterou a tendência ascendente dos encargos, havendo uma redução de 11% face ao ano anterior. De forma análoga aos consumos, houve um aumento de 15% de encargos durante o mesmo período. Porém, verificou-se uma redução de 14% dos encargos durante o período entre 2013 e 2014. A explicação deste facto advém de que em 2014 não foi contabilizado o consumo e o encargo com EE na BALUM/HFAR, o que influencia a variação a nível global dos mesmos parâmetros analisados.

O aumento com os encargos deve-se fundamentalmente ao facto do mercado da EE estar indexado à taxa de inflação, às taxas de juro e *spreads*, bem como à constante variação do preço do petróleo e carvão. Acresce ainda a variação do valor do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA), alteração de 6% para 23% em 2011 [19].

2.4 Auditoria Energética

Qualquer processo de melhoria de consumo de energia necessita de um diagnóstico perspetivo do estado energético da Unidade. Uma auditoria energética procura caracterizar e analisar as condições de utilização de energia, tendo como finalidade determinar possíveis oportunidades que visem um melhor e mais racional uso da energia.

Semelhante a qualquer projeto, uma auditoria exige uma preparação e planeamento adequados. Numa primeira fase, na preparação, pretende-se garantir um contacto inicial com o processo e responsabilização dentro da Organização, quer ao nível das chefias a quem se atribui a responsabilidade pela poupança de energia, quer ao nível da produção, responsável pela gestão das utilizações de energia. Na segunda fase, após a familiarização para possibilitar a otimização dos procedimentos, proceder-se-á à atribuição de responsabilidades, sendo deveras importante não só para a realização da auditoria – colaboração de quem trabalha nos locais e/ou com os

equipamentos ou sistemas, mas também para a implementação de possíveis medidas de racionalização energética (e respetivo acompanhamento), entretanto identificadas [20].

Numa auditoria devem constar dados que possibilitem uma avaliação técnico-económica das medidas de otimização de recursos energéticos, devendo estas incidir nas principais fontes de consumo, tais como iluminação, equipamentos, aquecimento, ventilação, e ar condicionado (AVAC), sistemas de água quente sanitária (AQS), controlo e sistemas de geração de energia.

Em suma, uma auditoria energética resume-se ao conjunto de decisões e medidas atempadas que, suportadas por soluções flexíveis e escaláveis, permitem fazer o balanço económico entre o custo-benefício de medidas que visem reduzir o consumo de recursos e os seus encargos, sendo assim necessário [20]:

- Responsabilizar (pedir a colaboração de quem trabalha nos locais e/ou com os equipamentos/sistemas);
- Planear a auditoria (o que se faz, quem faz o quê, onde e quando);
- Realizar a auditoria, propriamente dita;
- Rever todos os dados recolhidos (se estão todos, se estão coerentes, etc.).

Uma auditoria é usualmente dividida em 4 fases, sendo elas a recolha de dados documentais e análise de dados obtidos, visita às instalações com exame do equipamento, análise dos dados recolhidos e elaboração do Relatório de Auditoria, de acordo com [20].

2.4.1 Recolha de dados documentais e análise dos elementos obtidos

Esta fase envolve o levantamento energético da Organização, permitindo identificar o seu estado de funcionamento de modo a estabelecer os fluxos de energia. Por vezes torna-se difícil a obtenção destes dados uma vez que estes se encontram dispersos pelos vários departamentos da Organização. Deverá assim fomentar-se o fluxo livre de informação, eliminando as “ilhas” dentro da Organização, partilhando a informação relevante.

Com base nas faturas, é possível caracterizar a nível geral o desempenho energético ao longo do tempo e quantificar as utilizações por grandes categorias. Desta forma, é possível determinar o uso da energia por tipo de combustível, as variações periódicas das utilizações, os encargos anuais e os valores extremos das taxas de consumo e respetiva localização no tempo. Esta caracterização dos consumos poderá ser feita recorrendo a:

- Análise do historial de consumos (faturação diversa);
- Identificação, quantificação e análise dos consumos, rendimento e condições de funcionamento dos equipamentos de maior consumo através de:
 - Diagramas de cargas;
 - Rendimentos;
 - Ciclos de funcionamento;
 - Diagramas de Sankey.

2.4.2 Visita às instalações com exame do equipamento

Esta fase consiste num exame detalhado das condições de utilização/funcionamento dos equipamentos de utilização de energia. Partindo dos equipamentos consumidores de EE, a atenção recai sobre as seguintes categorias principais: iluminação, AVAC, força motriz, processos (calor industrial, ar comprimido, etc.) e outros equipamentos (transformadores, contactores, condutores, proteções, etc.). O objetivo desta fase é o de obter uma imagem desagregada das utilizações, de forma a facilitar a identificação de oportunidades de racionalização energética.

De forma a possibilitar uma supervisão integrada, é necessário que se registem os seguintes elementos:

- Edifício ou área a que se refere;
- Equipamentos monitorizados;
 - Descrição do equipamento;
 - Tipo de combustível utilizado;
 - Potência nominal;
 - Regime de carga médio;
 - Número médio de horas de utilização.
- Período a que se refere;
- Consumo real (em kWh, metros cúbicos, quilogramas, etc);
- Quantia paga pelo consumo de energia.

Estes dados são possíveis de obter por recolha direta ou por estimativa, sendo possível definir os regimes de funcionamento e os consumos das cargas analisadas. Durante a visita deverá existir a preocupação de se analisarem os hábitos de consumo, identificando consumos desnecessários, perdas por usos negligentes, incorreta utilização de equipamento e manutenção deficiente.

2.4.3 Análise dos dados recolhidos

Esta fase consiste no tratamento dos dados recolhidos nas fases anteriores. Este tratamento deverá disponibilizar indicadores e outros parâmetros que permitam a caracterização do comportamento da instalação, no que diz respeito aos seus consumos e rendimentos.

Identifica-se assim um conjunto de medidas de racionalização energética, sendo necessário proceder à sua ordenação e avaliação do ponto de vista económico. É importante realçar que estas medidas devem ser entendidas de uma forma ampla, pois poder-se-ão englobar não só medidas que resultem na diminuição dos encargos, mas também medidas que impliquem a alteração da opção contratual ou a eventual mudança de fornecedor.

A título de exemplo, relativamente à EE podemos ter as seguintes medidas:

- Correção das perdas das linhas de distribuição de energia;
- Correção do fator de potência;
- Utilização de equipamento mais eficiente com capacidade adequada à carga ou regulável eletronicamente;
- Utilização de iluminação adequada ao processo e segregação dos circuitos de iluminação ao nível de comando e controlo;

- Estratégias de operação e manutenção do equipamento de AVAC mais adequadas ao funcionamento dos edifícios e equipamentos.

De maneira a obter um maior rigor e detalhe na caracterização dos consumos, este processo deverá ser realizado de maneira sistemática e faseada. Em traços gerais, uma auditoria energética poderá ser tipificada em 4 grandes grupos, de acordo com [20]:

- **Auditoria sintética:** síntese dos consumos por vetores energéticos e encargos. Recorrendo normalmente às faturas, é possível a caracterização global dos consumos de energia e os respetivos encargos financeiros.
- **Auditoria genérica/deambulatória:** vistoria às condições de funcionamento das principais instalações (*check-list* resumida). Estas devem ser adequadas a cada situação.
- **Auditoria analítica:** análise dos consumos por tipo de equipamento. De maneira a determinar o padrão de funcionamento, poderá exigir-se a monitorização num intervalo de tempo, de maneira a determinar a energia por ele consumida, bem como a variação de potência (com a carga, por exemplo).
- **Auditoria tecnológica:** alterações nos processos. Os resultados nesta auditoria permitem avaliar soluções alternativas em termos de processos e tomada de possíveis decisões.

2.4.4 Elaboração do Relatório de Auditoria

No Relatório de Auditoria deverão constar os seguintes elementos, de forma detalhada e organizada:

1. Informação básica da Organização;
2. Contabilidade energética;
3. Análise da utilização de energia por produto ou processo.

Para averiguar a viabilidade do projeto, é necessário a monitorização e acompanhamento das medidas implementadas. Esta monitorização pode ser realizada através de contadores inteligentes que permitam a monitorização em tempo real, e que podendo ser controlados por um Gestor de Energia possibilitem aferir o nível de desempenho e de operação das instalações. Desta forma é possível conceber um sistema automático que possibilite controlar e adequar o funcionamento dos equipamentos, como se de um cérebro se tratasse, permitindo que o conforto por eles proporcionado seja garantido.

Este equipamento acarreta naturalmente custos, os quais deverão ser contabilizados no investimento inicial e exige dispêndio de recursos humanos para posterior monitorização, análise e atuação. Só desta maneira será possível verificar os resultados obtidos, permitindo determinar o ganho económico e a taxa de retorno.

2.5 Gestor de Energia

Compreender e caracterizar o perfil energético em edifícios públicos é extremamente complexo, devendo a utilização eficiente da energia ser uma das principais prioridades da administração. Desta forma é imperativo que exista uma vontade política forte e estruturada em relação à eficiência energética, traduzindo-se num responsável

com competências técnicas e organizacionais, com experiência e com o envolvimento dos recursos humanos adequados, doravante designado por Gestor de Energia. Este Gestor assume-se como figura chave responsável pelo estudo, implementação, dinamização e verificação de todas as medidas desenvolvidas no âmbito da utilização racional de energia.

Aliado a um conjunto de aptidões técnicas, que deverão incluir conhecimento das tecnologias e ações a empreender para economizar energia, o Gestor de Energia deverá estar enquadrado com a Organização de maneira a conhecer do ponto de vista técnico, energético e financeiro todos os setores e edifícios que devem ser melhorados.

De acordo com Abreu [21], as principais funções de um Gestor de Energia são:

- **Análise dos contratos de fornecimento de energia:** Verificar se os contratos satisfazem as necessidades específicas das instalações;
- **Auditoria ao consumo energético:** Análise dos consumos por setores;
- **Auditoria ao estado do equipamento:** Acompanhamento das ações de manutenção;
- **Localização de consumos anómalos ou evitáveis:** Eliminar ou minimizar encargos associados a situações anómalas ou que derivem de uma ineficiente utilização de recursos;
- **Planeamento de intervenções:** Redução do custo da fatura energética;
- **Benchmarking:** Comparar consumos, custos e resultados com outras instalações que tenham um perfil de utilização semelhante;
- **Promover uma cultura de eficiência energética:** Divulgar, motivar e sensibilizar os utilizadores numa perspetiva de redução racional dos recursos;
- **Avaliar o sucesso ou insucesso das medidas propostas:** Promover a melhoria contínua e reconhecer sucessos ou insucessos das políticas tomadas.

Esta figura na FA resulta de uma solicitação aos três ramos por parte da tutela, por intermédio do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública – ECO.AP⁹, onde se prevê a existência de um Gestor de Energia, ao qual reportam todos os gestores de energia de cada U/O/S [19].

Não obstante, a todo o trabalho prévio à implementação das medidas, o Gestor de Energia deverá assumir um papel interventivo na fase posterior. Este deverá ainda acompanhar a implementação em si, bem como a monitorização dos consumos, apresentando os seus resultados de forma a corroborar o seu trabalho.

2.6 Certificação Energética

De forma a informar o consumidor relativamente ao desempenho energético dos edifícios, surge no enquadramento legal o Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade de Ar Interior nos Edifícios (SCE)¹⁰. O objetivo deste sistema passa por assegurar a aplicação dos regulamentos relativos à eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis, e ainda às condições de garantia da qualidade do ar interior. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)¹¹ e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)¹², aprovados em 2006, permitem certificar o

⁹ Resolução de Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de janeiro

¹⁰ Decreto-Lei n.º 78/2006, 4 de abril

¹¹ Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de abril

¹² Decreto-Lei n.º 80/2006, 4 de abril

desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios, identificando as alterações e melhorias necessárias para o aumento dos mesmos. Contudo, com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, houve necessidade de introduzir novas disposições que visam reforçar o desempenho energético nos edifícios. De forma a assegurar a transposição da diretiva em referência bem como uma revisão à legislação nacional são aprovados num único diploma o Sistema de Certificação Energética¹³, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Com este diploma, pretendem-se melhorias ao nível do comportamento térmico dos edifícios de habitação, de comércio e serviços, bem como na eficiência energética dos seus sistemas técnicos.

O Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior, obrigatório a partir de 1 de dezembro de 2013 para todos os imóveis em venda ou arrendamento, é emitido por um perito qualificado, o qual classifica cada edifício em função do seu desempenho numa escala predefinida em 9 Classes (A+ a G). O Certificado enumera ainda medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior que podem ser implementadas, de maneira a reduzir os encargos energéticos.

Relativamente aos equipamentos de consumo energético, a Diretiva Comunitária 92/75 de 13 de outubro de 1992 uniformiza no espaço europeu a informação relativa à classe de eficiência em que aqueles se encontram. A etiqueta energética, uniforme para todos os produtos de uso doméstico, permite comparar as características entre os vários equipamentos, tais como o consumo energético, o ruído ou a capacidade do equipamento. Os aparelhos, tais como as máquinas de lavar roupa, as máquinas de lavar a louça e os televisores, possuem 7 Classes (A+++ a D). Os equipamentos de refrigeração por absorção e de armazenagem de vinho apresentam 10 Classes (A+++ a G). De realçar que um equipamento da classe G pode consumir até 3 vezes mais comparativamente a um de classe A [22].

Assim, a escolha dos equipamentos a instalar nos edifícios não pode ser pouco cuidada, havendo necessidade de atender às características e informação que constam na etiqueta energética. Optando por um equipamento mais eficiente, apesar de ser mais caro, o investimento será recuperado mais tarde na redução do consumo energético durante a sua utilização. Ao optar por um equipamento mais barato e menos eficiente, este acabará por se tornar mais dispendioso, uma vez que consome mais energia, aumentando consequentemente a fatura energética.

2.7 Uso da energia nos edifícios

O potencial de economia numa U/O/S passa, em grande parte, pela atuação nos edifícios. Estes revelam-se como pontos de consumo elevado, não só devido às infraestruturas, sistemas e equipamentos instalados, como também pelo facto dos utilizadores passarem grande parte do seu tempo no seu interior.

O consumo de energia tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, em consequência da melhoria de conforto, bem-estar e lazer proporcionados cada vez mais por equipamentos eletrónicos, de climatização e de tratamento de ar.

O consumo de energia ao longo da vida de um edifício apresenta tipicamente a seguinte distribuição [21]:

- Fabrico, transporte e construção: 12%;
- Utilização (aquecimento, ventilação, aquecimento de água e eletricidade): 84%;

¹³ Decreto-Lei n.º 118/2013, 20 de agosto

- Manutenção e renovação: 4%.

Segundo Abreu [21], alguns dos fatores que influenciam os consumos de energia num edifício são:

Tabela 2.1 - Fatores que influenciam o consumo de energia num edifício

Construtivos	Humanos	Outros
Forma	Comportamento dos ocupantes	Sistemas de consumo de energia final
Orientação	Manutenção	Idade
Sombreamento	Temperatura interior ideal estipulada	Tipo de edifício
Rácio entre altura e área dos pisos	Horários de ocupação do edifício	Climáticos
Rácio entre área de janelas e parede	Número de ocupantes	
Níveis de insolação e propriedades das janelas	Monitorização e processo de aquisição de dados de consumos	
Área de envidraçados		
Isolamento térmico		
Impermeabilização		
Área útil		

Em relação à energia final em edifícios, esta distribui-se aproximadamente do seguinte modo: cozinhas e águas sanitárias 50%, aquecimento e arrefecimento 25%, iluminação e equipamentos 25% [23].

De forma generalista, o consumo de energia dos edifícios pode ser reduzido através das seguintes medidas [6]:

- Melhoria das características construtivas, reduzindo as necessidades energéticas em aquecimento e arrefecimento;
- Utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- Medidas de gestão da procura, no sentido de reduzir os consumos energéticos na utilização dos equipamentos.

Estas medidas de gestão da procura podem ser passivas ou ativas e de autoconsumo.

Medidas Passivas

O clima mediterrâneo da zona geográfica onde Portugal se localiza faz com que fatores como exposição solar, orientação, ventilação e iluminação natural não possam ser descurados aquando a construção de novos edifícios.

As características de construção de um edifício, relacionadas com o tipo de materiais utilizados para a construção, influenciam as condições de conforto interior por ele proporcionadas. A capacidade de captar/dissipar a radiação solar nos períodos de maior/menor necessidade energética, inverno e verão respetivamente, determina o grau de conforto oferecido aos ocupantes e os consequentes gastos de energia [6]. As medidas referentes à envolvente externa dos edifícios classificam-se como passivas, devendo estas ser alvo de estudo e implementação na fase de projeto, em coordenação com a arquitetura e restantes especialidades envolvidas.

Assim, consoante o clima local deverá privilegiar-se uma condição ou outra. O ótimo seria obter boas prestações tanto no inverno como no verão. Caso não seja possível, deverá incidir-se na estação que conduz a um consumo maior de energia a nível da climatização.

Analisando um edifício como um sistema fechado (não considerando a entrada e saída de pessoas), o que se pretende é a redução da permeabilidade das fronteiras de forma a minimizar a transferência de energia com o exterior. Neste contexto, a escolha criteriosa dos materiais de isolamento das paredes e coberturas poderá conduzir a uma redução substancial do consumo de energia na climatização dos espaços.

Também as áreas envidraçadas desempenham um papel importante no domínio da eficiência térmica de um edifício, uma vez que a estas estão associadas cerca de 11% das perdas de energia [24]. As áreas envidraçadas constituem um caminho de dois sentidos, comportando-se como uma entrada e saída de calor sem custos. Assim a intervenção nestas áreas deve ser feita com o intuito de reduzir as infiltrações de ar não-controladas, aumentar a captação de ganhos solares no inverno, reforçar a proteção da radiação solar durante o verão e melhorar as condições de ventilação natural [6]. Um sistema de isolamento de vidro duplo ou janela dupla reduz para metade as perdas de calor comparativamente ao vidro normal [22].

Por outro lado, as condições no inverno são opostas às verificadas no verão. No inverno, dever-se-ão maximizar as áreas expostas à radiação solar e minimizar as trocas de energia não-controladas, por forma a reduzir ao máximo as despesas inerentes ao aquecimento da instalação. No verão dever-se-ão reduzir ao máximo as superfícies expostas ao sol, através de equipamentos que possibilitem o sombreamento e deverão usar-se também soluções que favoreçam a ventilação natural, impedindo desta forma a acumulação de humidade que afeta o conforto e saúde dos habitantes.

Este conjunto de medidas passivas de eficiência no consumo poderá conduzir a economias de energia na ordem dos 5% [6] [25].

Medidas Ativas e de Autoconsumo

Relativamente a medidas ativas e de autoconsumo, encontram-se nomeadamente soluções que passam por sistemas de climatização e iluminação eficientes, bem como os sistemas de aproveitamento da energia solar térmica para a climatização (aquecimento e arrefecimento) e de produção de AQS.

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento desempenham indubitavelmente um papel essencial no conforto dum edifício. Assim, estes sistemas deverão estar bem dimensionados para as condições ambientais do interior dos edifícios, de forma a consumir o mínimo de energia possível, não descurando o bem-estar dos ocupantes.

Optando por um sistema de aquecimento central adequado, é possível garantir simultaneamente o aquecimento das divisões no inverno e a produção de água quente para uso doméstico. Um sistema deste tipo é constituído por uma unidade geradora de calor (caldeira), por um sistema de distribuição do calor (tubagens), por permutadores de calor (radiadores, piso radiante, entre outros) e ainda por unidades de regulação e controlo.

A caldeira é responsável pela transformação de energia primária em final, constituindo-se como o equipamento principal do sistema, revestindo-se a sua eficiência da máxima importância. A potência da caldeira deverá ser devidamente dimensionada em função do sistema a aquecer, uma vez que caldeiras com capacidade superior à necessária poderão apresentar uma eficiência inferior à prevista, resultando num maior consumo de combustível. A caldeira deverá adequar-se à dimensão e tipologia do edifício, ao clima da região e ao número de pessoas a que se destina.

A opção por um sistema de aquecimento central é mais aconselhável em comparação com a opção por sistemas de aquecimento independentes, uma vez que existe menos desperdício na transformação de energia. Por outro lado, um aquecimento independente permitirá uma melhor adequação de temperatura ao perfil do consumidor, em benefício da utilização racional e mais eficiente de energia.

De forma semelhante aos sistemas de aquecimento, os sistemas de Ar Condicionado (AC) revelam-se um requisito imprescindível para os dias de maior calor. Estes sistemas, combinando a temperatura, a humidade e a distribuição do ar ao longo das divisões, proporcionam um ambiente confortável de trabalho. De forma a minimizar o desperdício de energia no processo de conversão, os sistemas de arrefecimento central mostram-se mais eficientes em relação a módulos independentes, acarretando estes por via de regra custos de operação mais elevados que os sistemas centrais.

A escolha dos sistemas de AC deverá ser devidamente ponderada, devendo-se ter especial atenção à sua etiqueta energética e valor do índice de eficiência energética. A potência a instalar varia com a área dos espaços a climatizar, bem como com a exposição solar, devendo-se optar por aparelhos do tipo “inverter”, que consomem entre 20 a 30% menos de EE que os aparelhos convencionais [22].

Tipicamente, o aquecimento de água para fins domésticos é um processo que consome uma grande quantidade de energia, pelo que a seleção e utilização eficiente destes sistemas poderá conduzir a uma diminuição significativa do consumo de energia.

Aquando da existência de um sistema de aquecimento central com caldeira é possível produzir AQS, através de um acumulador integrado, uma vez que a água aquecida é armazenada num tanque isolado para uso posterior. Este sistema apresenta inúmeras vantagens em relação aos tradicionais esquentadores a gás e termoacumuladores elétricos, nomeadamente o trabalho de forma contínua, evitando o “pára-arranca” dos sistemas, bem como o consequente desperdício de água, e a utilização simultânea por várias pessoas sem comprometer os níveis de conforto.

Em relação à energia solar térmica, a produção de AQS pode ser realizada por intermédio de painéis solares. Um painel é um dispositivo que converte a energia solar em energia térmica e onde, no permutador, o fluido de aquecimento circula, sendo a água posteriormente armazenada num depósito.

A área de painel necessária para uma habitação ronda 1 m² por pessoa, para uma utilização diária de cerca 50 a 70 litros. As necessidades diferem entre os solstícios, ainda que, para otimizar o retorno do investimento se opte por dimensionar o sistema de forma a satisfazer as necessidades de água quente no verão. No inverno só cerca de 70% das necessidades serão preenchidas, havendo necessidade de se complementar a produção de AQS com outros sistemas [6]. A obrigatoriedade e a definição dos requisitos energéticos relativos ao aproveitamento da energia solar térmica vão de encontro ao estabelecido no REH.

Por sua vez, a iluminação assume-se como uma das utilizações finais de energia significativa, representando cerca de 20% do consumo numa habitação [22]. A iluminação natural deverá ser sempre favorecida, possibilitando a criação de um bom ambiente de trabalho na medida que aumenta o conforto dos utilizadores.

No que concerne à iluminação artificial, o fluxo luminoso gerado pela lâmpada medido em lúmen, depende exclusivamente do seu material. A eficiência da lâmpada traduz-se no quociente entre o fluxo luminoso produzido (em lúmen) e o consumo de EE (em Watt). Atualmente, as lâmpadas fluorescentes de tecnologia T5 e os díodos emissores de luz (LED) estão na vanguarda das lâmpadas mais eficientes, podendo as últimas durar até 40 000 horas [26], reduzindo substancialmente os custos de manutenção.

A substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas ou tubulares, bem como a substituição, na iluminação fluorescente, de balastros ineficientes por balastros eletrónicos, permite economias na ordem dos 75% e 20%, respetivamente [6].

A divisão dos circuitos de iluminação aliada a sensores de presença temporizados, permite que os aparelhos de iluminação sejam acionados automaticamente apenas onde e quando necessário. A regulação do fluxo luminoso torna-se particularmente útil em locais onde as condições de iluminação natural são favoráveis.

A maneira como a luz é distribuída influencia o consumo de energia numa instalação. A seleção de uma boa luminária permite maximizar a relação entre o fluxo gerado pela lâmpada e o fluxo emitido pelo aparelho de iluminação, minimizando desta forma o consumo energético. Esta seleção deverá ter em conta vários parâmetros:

Tabela 2.2 - Parâmetros de seleção de lâmpadas [26] (adaptado)

Parâmetro	Descrição
Fluxo luminoso	O nível de iluminação deverá ser ajustado ao local de trabalho, prevenindo o défice ou excesso de iluminação.
Ângulo de abertura do fluxo luminoso	Indicador da área coberta pela iluminação da lâmpada. O ângulo de abertura é proporcional à área iluminada.
Tempo de vida útil	Período de tempo em que a lâmpada funciona corretamente.
Temperatura da cor	Depende do local de trabalho. Para zonas de trabalho deverá incidir sobre os “brancos neutros/frios” (mais de 4000 K), enquanto que para zonas de descanso opta-se por “branco quente” (2700 K).
Temperatura de funcionamento	Algumas lâmpadas são mais sensíveis que outras e o seu rendimento varia em função da temperatura, devendo este parâmetro ser tido em consideração.

Resistência aos ciclos de ligar/desligar	A capacidade de ciclos de ligar/desligar deverá ajustar-se ao local de instalação, uma vez que a frequência de utilização varia com cada aparelho de iluminação.
Tempo de Aquecimento	Em particular para as lâmpadas fluorescentes compactas, deverá ter-se em consideração o tempo que demoram a atingir o fluxo máximo.
Regulação da intensidade	Indicado para ambientes com exposição solar. Permite o ajuste mediante a luminosidade solar.

Apesar de as medidas descritas passarem maioritariamente pela substituição de equipamentos, o recurso a medidas passivas, tais como a regular limpeza das lâmpadas, de refletores e de difusores poderá incrementar os níveis de conforto proporcionados.

Esta panóplia de medidas ativas e de autoconsumo supra descritas podem conduzir a economias de energia na ordem dos 10% [25].

O conjunto de medidas passivas, ativas e de autoconsumo implicam investimento de capital inicial. No entanto, se aliadas a estas medidas forem implementadas medidas comportamentais que passem pela mudança dos perfis de consumo, as economias de energia podem ascender a 20% [25].

Desta forma, verifica-se que o potencial de economias de energia passa essencialmente por planos de intervenção, os quais deverão englobar as áreas de iluminação, de equipamentos e de sistemas de climatização.

3. Caracterização do trânsito de potência

“A deformação da onda de tensão ou de corrente significa que a distribuição de energia elétrica é perturbada e que a Qualidade de Energia não é ótima.”

Schneider Electric, 2003

Pretende-se neste capítulo estudar o trânsito de energia na Unidade. São introduzidas as definições dos diferentes tipos de potência existentes e apresentadas as expressões que as relacionam. São calculados os parâmetros das linhas de transmissão, seguido do cálculo das perdas no transporte de energia entre PT. Procede-se ainda ao estudo da Qualidade de Energia Elétrica (QEE), atendendo aos diferentes parâmetros que caracterizam o fornecimento de EE, permitindo concluir sobre a prestação de serviço por parte do fornecedor externo.

3.1 Definições

De forma a enquadrar a temática da potência, procede-se à definição dos termos utilizados nesta dissertação.

Potência Ativa (P): Potência que efetivamente produz trabalho através da geração de calor, movimento, luz, entre outras. Resulta no gasto energético após o início de cada processo de transmissão de energia, desde a geração até à carga. É medida em Watt (W) e nos seus múltiplos (kW, MW, GW, TW).

Potência Reativa (Q): Potência responsável por criar e manter campos eletromagnéticos necessários para o correto funcionamento de cargas indutivas, nomeadamente motores, reatores e transformadores. À sua unidade de potência, reserva-se o volt-ampere reativo (var) e os seus múltiplos (kvar, Mvar, Gvar, Tvar).

Potência aparente (S): Soma vetorial de P e Q. Representa a totalidade de potência que é entregue à carga. É expressa em volt-ampere (VA) e nos seus múltiplos (kVA, MVA, GVA, TVA).

Fator de potência ($\cos \varphi$): Razão entre P e S.

Estas grandezas relacionam-se de acordo com a figura 3.1.

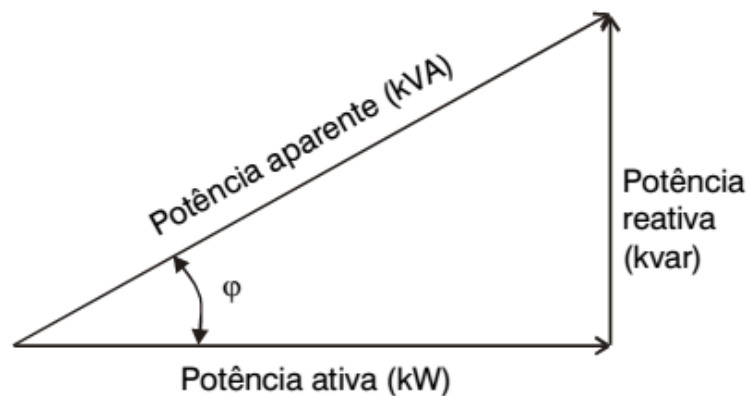


Figura 3.1 - Triângulo retângulo de potência

3.2 Transmissão de Energia

A geração de energia pode ter inúmeras fontes. A nível de geração termoelétrica, Portugal possui onze centrais instaladas [27], tendo como combustível carvão, gás natural, gasóleo e biomassa. No que concerne à geração hidroelétrica, existem trinta e oito centrais ao longo do território continental [28].

Uma vez que os locais de maior consumo se encontram distantes dos locais de geração, torna-se necessário transportar esta energia até aos mais variados consumidores (saúde, lazer, habitações, indústria, etc). Este processo de transporte denomina-se transmissão de energia elétrica, o qual usa linhas de transmissão de alta potência em corrente alternada. De acordo com Sucena Paiva [29], a transmissão de energia resulta do campo eletromagnético criado pela tensão entre os condutores e pela corrente que os percorre.

Num esquema elétrico, a linha elétrica pode ser modelada por uma impedância longitudinal e admitância transversal. Na generalidade dos modelos, são utilizadas a resistência e reatância longitudinais. Contudo, a susceptância transversal apenas se considera quando o comprimento de linha excede certos limites. Na maior parte dos casos, a condutância transversal é ignorada [29].

No entanto, nem toda a energia gerada é entregue ao consumidor. Associada à transmissão de energia elétrica estão intrinsecamente as perdas por efeito de Joule, as quais são condicionadas pela resistência da linha. Este parâmetro é expresso em Ohm por metro (Ω/m) e varia com a temperatura, sendo em geral especificada para 20°C pelos fabricantes. Assim, a potência transitada numa linha está limitada pela capacidade de transporte. Segundo Sucena Paiva [29], este limite é estabelecido pela temperatura máxima admissível dos condutores - limite térmico, pela estabilidade estática de base eletromecânica e pela estabilidade de tensão de base eletromagnética.

3.2.1 Limite térmico

O limite prático imposto pela condição térmica do condutor resulta das perdas por efeito de Joule provocadas pela passagem da corrente elétrica. Estas perdas que aquecem o condutor são função da intensidade da corrente elétrica e da resistência total do condutor.

O aumento de temperatura pode danificar irreversivelmente as características físicas dos condutores e no caso dos cabos subterrâneos, o seu isolamento. Assim, e de maneira a que não se atinja este limite, uma solução passa por aumentar a reatância série da linha ou diminuir o desfasamento entre o ângulo da tensão de emissão e receção, denominado por ângulo de transmissão.

3.2.2 Limite de estabilidade de tensão

Um sistema elétrico pode considerar-se estável, do ponto de vista de tensão, se em condições de funcionamento normal conseguir manter níveis de tensão aceitáveis em todos os barramentos quando sujeito a perturbações. A estabilidade de tensão está relacionada com o trânsito de Q na rede e ao comportamento das cargas face a variações de tensão, pelo que se torna importante o seu estudo.

Quando ocorre uma contingência, quer um aumento de carga ou uma alteração nas condições do sistema, estas provocam uma progressiva e descontrolada queda de tensão, levando à instabilidade do sistema. Esta instabilidade do sistema é provocada pela incapacidade de resposta à necessidade de E_Q , uma vez que o trânsito de P e Q nas indutâncias das linhas da rede provoca quedas de tensão no sistema.

Quando a P de carga atinge um valor limite, observa-se o fenómeno do colapso de tensão. Neste caso, o sistema torna-se instável, sendo o limite de instabilidade resultado da falta de suporte de Q [29].

3.3 Cálculo dos parâmetros da linha de transmissão

A Unidade não está dotada de equipamento de geração de EE para o seu funcionamento autónomo. A EE é fornecida externamente pela Galp Power¹⁴, sendo recebida no Posto de Transformação (PT) 1, assumindo-se este PT como o principal. Existem dois PT adicionais que asseguram a distribuição a toda a Unidade, que recebem EE através do PT1. O fornecimento por parte da Galp Power é realizado através de linha aérea trifásica, com destino ao seccionador do PT1. A ligação entre o PT1 e os PT2 e PT3 é estabelecida através de um sistema tripolar de cabos monopolares subterrâneos. Quer o fornecimento, quer a distribuição são realizados em Média Tensão (MT), a uma tensão nominal de 30 kV, de acordo com o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas da Alta Tensão¹⁵.

O cabo subterrâneo que liga os PT pode ser modelado por uma impedância (Z), sendo os seus parâmetros calculados de seguida. A distribuição é feita por um sistema tripolar com cabos do tipo LXHIOZ1 (be) 1x120mm². O ramal tripolar entre PT1/PT2 (L_{12}) tem um comprimento de 320 m, e o ramal tripolar entre PT1/PT3 (L_{13}) 450 m. Considera-se que os condutores se encontram equidistantes entre si a uma distância de 20 cm.

A indutância no condutor é dada pela expressão:

$$L = (0.05 + 0.2 * \ln \frac{2R}{d}) * 10^{-3} H/km \quad (1)$$

Onde: d - Diâmetro do condutor [mm];

R - Distância entre eixos dos condutores [mm].

Como a secção para um condutor circular é dada por $s = \pi r^2$, o raio é facilmente calculado:

$$r = \sqrt{\frac{s}{\pi}} = \sqrt{\frac{120}{\pi}} = 6.1804 \text{ mm} \quad (2)$$

Assim, substituindo na equação 1 vem:

$$L = (0.05 + 0.2 * \ln \frac{2 * 200}{2 * 6.1804}) * 10^{-3} = 7.4539 * 10^{-4} H/km$$

Multiplicando pelo comprimento da linha obtém-se o valor da indutância total.

$$L'_{12} = L * L_{12} = 7.4539 * 10^{-4} * 0.320 = 2.385 * 10^{-4} H$$

¹⁴ Para o ano de 2015

¹⁵ Decreto Regulamentar n. 1/92 de 18 de fevereiro

A transmissão de energia é feita à frequência fundamental (f) de 50 Hz, sendo o valor da reatância (X) resultado do produto entre a indutância e a frequência angular (ω).

$$X_{L_{12}} = \omega L'_{12} = 2\pi f * L'_{12} = 2\pi 50 * 2.385 * 10^{-4} = 0.0749 \Omega$$

Relativamente à resistência, em corrente alternada, a densidade de corrente não se distribui uniformemente pela secção do condutor, sendo mais elevada na periferia do condutor, fenómeno designado por efeito pelicular. O facto de os vários condutores estarem próximos, incorre no condutor fenómenos de indução mútua provocando a distribuição não uniforme do fluxo entre os condutores de uma linha, sendo este conhecido por efeito de proximidade [29].

Desta forma, estes dois efeitos traduzem-se num aumento de resistência dos condutores face à resistência em corrente contínua (CC). Assim de acordo com a IEC 60287 [30], a resistência do condutor em corrente alternada e à temperatura máxima de serviço é:

$$R = R' * [1 + y_s + y_p] \Omega/m \quad (3)$$

Onde: R' - Resistência do condutor em CC à temperatura máxima de operação [Ω/m];
 y_s - Coeficiente de efeito pelicular;
 y_p - Coeficiente de efeito de proximidade.

A resistência do condutor em CC à temperatura máxima de operação é dada pela expressão:

$$R' = R_{20}[1 + \alpha(\theta - 20)] \Omega/m \quad (4)$$

Onde: R_{20} - Resistência do material condutor a 20°C em CC [Ω/m];

$$R_{20} = \frac{\rho}{s} \Omega/m \quad (5)$$

ρ - Resistividade do material [$\Omega.m$]¹⁶;
 s - Secção do condutor [mm^2]. Este valor deve ser obtido diretamente a partir da ICE 60228. A resistividade do material encontra-se na tabela 1 da norma ICE 60287.
 α - Coeficiente de temperatura¹⁷;
 θ - Temperatura do material [$^{\circ}C$].

O coeficiente de efeito pelicular (y_s) é calculado de acordo com a equação 6:

¹⁶ $\rho_{al} = 2.8264 * 10^{-8} \Omega$

¹⁷ $\alpha_{al} = 0.00403$

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8 x_s^4} \quad (6)$$

Onde:

$$x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} * 10^{-7} * k_s \quad (7)$$

f - Frequência fundamental [Hz];

R' - Resistência do condutor em CC. à temperatura máxima de operação [Ω];

k_s - Coeficiente relativo ao efeito pelicular ($k_{sal} = 1$);

Relativamente ao coeficiente de proximidade (y_p), este pode ser calculado da seguinte forma:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8 x_p^4} \left(\frac{d_c}{d} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{d_c}{d} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{x_p^4}{192 + 0.8 x_p^4} + 0.27} \right] \quad (8)$$

Onde:

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} * 10^{-7} * k_p \quad (9)$$

f - Frequência fundamental [Hz];

R' - Resistência do condutor em CC à temperatura máxima de operação [Ω];

k_p - Coeficiente relativo ao efeito de proximidade ($k_{pal} = 0.8$);

d_c - Diâmetro do condutor [mm];

d - Distância entre os eixos dos condutores [mm].

Segundo Sucena Paiva [29], a variação da resistência com a temperatura não é muito significativa. A título de exemplo, para o alumínio uma variação de 20°C para 40°C infere uma variação de 8%. Desta forma, a resistência será calculada para uma temperatura de 30°C.

$$R' = \frac{2.8264 * 10^{-8}}{120 * 10^{-6}} [1 + 0.00403(30 - 20)] = 2.45 * 10^{-4} \Omega/m$$

De seguida calcula-se o coeficiente relativo ao efeito pelicular:

$$x_s^2 = \frac{8\pi 50}{2.45 * 10^{-4}} * 10^{-7} * 1 = 0.5129$$

$$y_s = \frac{0.5129^2}{192 + 0.8 * 0.5129^2} = 0.0013686$$

Quanto ao coeficiente de proximidade:

$$x_p^2 = \frac{8\pi 50}{2.45 * 10^{-4}} * 10^{-7} * 0.8 = 0.4103$$

$$y_p = \frac{0.4103^2}{192 + 0.8 * 0.4103^2} \left(\frac{2 * 6.1804}{200} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{2 * 6.1804}{200} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{0.4103^2}{192 + 0.8 * 0.4103^2} + 0.27} \right] = 1.4583 * 10^{-5}$$

Substituindo estes valores na equação 3, a resistência por unidade de comprimento é:

$$R = 2.45 * 10^{-4} * [1 + 0.0013686 + 1.4583 * 10^{-8}] = 2.4533 * 10^{-4} \Omega/m$$

Verifica-se que o efeito pelicular e de proximidade têm pouca influência no aumento de resistência, pois em geral o seu efeito é desprezável para secções inferiores a 185 mm² [31] e à frequência de 50 Hz.

Tabela 3.1 - Sumário dos parâmetros das linhas

Ramal	Comprimento [m]	Indutância (mH)	Reatância [Ω]	Resistência [Ω]
PT1/PT2	320	0.2385	0.0749	0.0785
PT1/PT3	450	0.3354	0.1054	0.1104

3.4 Perdas na transmissão

De maneira a perceber a quantidade de energia dissipada na distribuição, ir-se-á calcular o valor das perdas por efeito de Joule na transmissão referentes ao ano de 2014. No entanto, no PT1 e PT2 os registos datam após as 12 horas do dia 9 de abril. Assim, a análise será feita a partir dessa data, não sendo alvo de análise os meses anteriores.

O gráfico 2.4 fornece o consumo geral da Unidade, representando o valor de energia que é entregue pelo fornecedor externo, ie, a quantidade de energia que é recebida pelo PT1. No entanto, as perdas em questão dizem respeito ao ramal PT1/PT2 e PT1/PT3.

A análise será feita de forma independente para cada cabo subterrâneo, estando o sistema esquematizado na figura 3.2.

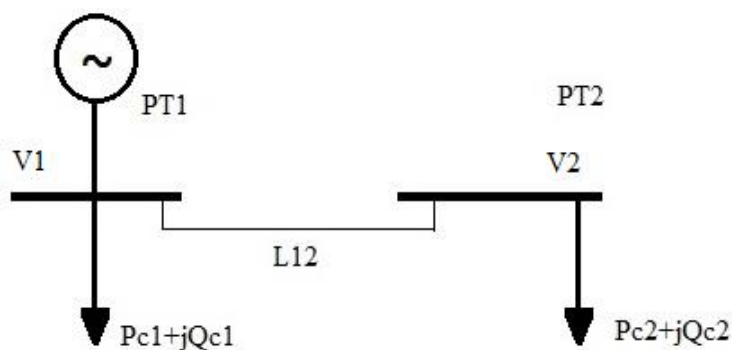


Figura 3.2 - Sistema com dois barramentos e um gerador e duas cargas

As perdas por efeito de Joule, em função da intensidade da corrente elétrica e da resistência total do condutor em sistemas trifásicos, traduzem-se na equação 10:

$$P_J = 3rI^2 [W] \quad (10)$$

Onde: r : Resistência do condutor em corrente alternada e à temperatura máxima de serviço [Ω];
 I : Intensidade de corrente elétrica no condutor em MT [A].

O cálculo da intensidade de corrente elétrica, por fase e em MT, é dado pela relação:

$$I_{MT\phi} = \frac{P}{\sqrt{3}V_C \cos \phi} [A] \quad (11)$$

Onde: P : Potência Ativa entregue no PT [W];
 V_C : Tensão Composta¹⁸ entre fases no condutor em MT [V];
 $\cos \phi$: Fator de potência.

Através das leituras das *PM710* instaladas à entrada do QGBT de cada PT, é possível verificar a leitura de potência ativa consumida durante o período acima mencionado. O intervalo de medição do valor de potência ativa é de 15 minutos, tendo sido desprezadas para o cálculo da intensidade de corrente elétrica as perdas nos transformadores.

Para o cálculo da intensidade da corrente elétrica, é assumido um fator de potência de 0.90. Assim, para cada intervalo de medição, é calculado o valor da intensidade de corrente elétrica, bem como o correspondente valor de perda por efeito de Joule. A totalidade de perdas em cada mês, resulta no somatório das perdas em cada intervalo de medição, conforme equação 12.

$$W_{Perdas} = \sum_1^{n*24*4} P_J [Wh] \quad (12)$$

Na tabela A.1 do anexo A encontra-se o valor de energia ativa consumida pelo PT2 e PT3.

A totalidade de energia dissipada nos condutores subterrâneos por efeito de Joule, apresenta-se na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Perdas nas linhas em cada mês

		abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Perdas [kWh]	PT2	0.21	2.41	0.50	0.54	0.25	0.37	0.32	0.52	0.75
	PT3	1.71	2.79	3.39	3.00	2.13	2.52	2.62	3.69	3.59
Perdas [%]	PT2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	PT3	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01

¹⁸ $V_C = 30 \text{ kV}$

Verifica-se que as perdas de transporte nos condutores são insignificantes, sendo sempre inferiores a 1%. Desta forma, não se justifica a adoção de qualquer medida para reduzir as perdas nas linhas de transmissão.

3.5 Qualidade de Energia Elétrica

Um dos desafios da atualidade debruça-se sobre formas de armazenamento de EE, uma vez que ainda são muito limitadas as possibilidades de conseguir esse armazenamento e muito aquém das necessidades das redes de EE. De acordo com a Diretiva Comunitária CE 374/85 [32], a eletricidade deve ser considerada um produto, sendo por isso necessário definir as suas características.

Devido à vasta panóplia de cargas que podem existir numa instalação, a exigência quanto à QEE é diferente para cada serviço. A qualidade do serviço pode ser influenciada por diversos fatores, os quais por vezes, não são possíveis de controlar. Como referido anteriormente, a maior parte da EE é gerada em grandes centrais eletroprodutoras, sendo necessário o seu transporte e distribuição (T&D) até aos consumidores. Estes sistemas de T&D estão sujeitos a uma grande diversidade de perturbações que degradam a QEE, salientando-se a interferência de árvores, animais, tempestades e incêndios, etc.

Como se pode observar, as redes de T&D possuem cadeias de isoladores entre os condutores e os postes de amarração/suspensão, os quais ficam contaminados devido à acumulação de poluição e humidade [33]. Esta contaminação pode originar o contornamento da cadeia de isoladores, e consequentemente ao estabelecimento de curto-circuitos que, para serem extintos, obrigam à atuação das proteções da linha, originando cavas de tensão que se propagam ao longo da linha.

As descargas atmosféricas também assumem um papel fulcral quanto à QEE. Uma vez que a rede de T&D se encontra entre a base das nuvens e o solo, estas são frequentemente atingidas por descargas atmosféricas, resultando esta incidência em sobretensões de curta duração, mas de elevada amplitude. Também as condições atmosféricas adversas como ventos fortes provocam a variação da indutância das linhas, o que acaba por degradar a QEE.

Depois dos anos 70 do último século, verificou-se uma proliferação elevada de cargas não lineares, constituídas principalmente por semicondutores dos mais diversos tipos (diodos, transístores, tirístores e *Isolated Gate Bipolar Transistors*). Estas cargas permitem uma utilização mais eficiente da EE. Contudo, devido à sua não linearidade, introduzem correntes não sinusoidais que interferem com a onda de tensão, provocando a distorção da mesma deixando esta de ser sinusoidal, levantando enormes problemas na rede elétrica [31].

De maneira a regular e a normalizar os padrões mínimos de qualidade no setor elétrico, foi publicado em 2000 o Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS)¹⁹, que foi revisto em 2003²⁰ e em 2005²¹, sendo esta a última versão que se encontra em vigor na presente data. Neste Regulamento estão previstas disposições de natureza técnica e de natureza comercial, sendo que apenas são abordadas nesta dissertação as disposições de natureza técnica.

De acordo com o artigo 4º do RQS [34], na temática da QEE referente à natureza técnica consideram-se os seguintes aspetos:

¹⁹ Despacho n.º 12 917 – A/2000 (2.ª série), de 23 de junho

²⁰ Despacho n.º 2410 A/2003 (2.ª série) de 5 de fevereiro

²¹ Despacho n.º 5255/2006 (2ª série), de 8 de março

- Continuidade de serviço: analisando a continuidade da tensão e avaliando a periodicidade e duração das interrupções de fornecimento de EE;
- Qualidade da onda de tensão: caracterizada pela forma de onda de tensão, amplitude, frequência e simetria do sistema trifásico de tensão.

A posição geográfica da instalação afeta diretamente o fornecimento de EE, podendo a qualidade de serviço variar de acordo com as zonas geográficas. De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), em 2013 o concelho de Alenquer possuía 23 191 [35] consumidores de eletricidade, classificando-se numa Zona B conforme artigo 8º do RQS.

Referente à continuidade de serviço, existem vários indicadores que possibilitam a sua avaliação tendo como base de consideração o número e a duração das interrupções. A Unidade está dotada de dois grupos geradores (GG) para o regime de funcionamento de emergência. No entanto, os multímetros estão instalados após o transformador, e como os GG entram em funcionamento aquando as interrupções por parte do fornecedor externo, os multímetros não têm possibilidade de contabilizar as interrupções. No entanto, à totalidade de interrupções corresponde o número de arranques automático do GG. Relativamente à duração das interrupções não é possível calcular, uma vez que não existe monitorização do consumo de combustível dos GG após cada utilização, sendo que estas não deverão ser superiores a 4 horas.

Uma vez que o dimensionamento dos GG está feito para suportar a totalidade das cargas da Unidade, e como os depósitos dos mesmos podem ser reabastecidos em funcionamento, qualquer interrupção superior à prevista, não constitui entrave para o regular funcionamento da Unidade, desde que seja feita a correta manutenção e vigilância do nível dos depósitos. Em relação à quantidade de interrupções, estas não devem exceder as 16 ocorrências. Para o ano de 2014 não foi possível determinar com certeza o quantitativo de interrupções, estimando-se em cerca de 15 ocorrências.

Relativamente à qualidade da onda de tensão, surge como enquadramento legal a norma NP EN 50 160 [36] que define as características principais da tensão no ponto de entrega ao consumidor. Estas são a frequência, amplitude, forma de onda e simetria das tensões trifásicas.

Uma forma de onda de tensão ideal deve ser ininterrupta, puramente sinusoidal com uma frequência e amplitude constantes, e caso se trate de um sistema trifásico, a defasagem e amplitude das fases deve permanecer constante ao longo do tempo.

No entanto, devido à instabilidade do sistema elétrico, esta sofre perturbações que se podem classificar como perturbações temporárias e perturbações do regime permanente. As perturbações temporárias podem ser tipo sobretensões à frequência fundamental, cavas de tensão, interrupções e variações de frequência. As perturbações do regime permanente são devidas ao desequilíbrio da tensão, à distorção harmónica e à tremulação (*flicker*).

A transmissão de EE na Europa é feita em corrente alternada a uma frequência fundamental de 50 Hz. A sua variação está diretamente relacionada com a variação de carga que o sistema suporta, ie, com a velocidade de rotação das massas girantes dos geradores. Se houver um aumento brusco da potência de carga, os geradores terão tendência a desacelerar e vice-versa. Para o correto funcionamento dos equipamentos, principalmente das máquinas elétricas de grande potência, é necessário que esta se mantenha numa gama de valores restritos. O intervalo de avaliação é anual, sendo medida a média da frequência de cada ciclo durante 10 segundos. Durante 99.5% do ano, a frequência deverá estar compreendida entre os 50 Hz $\pm 1\%$ (49.5 Hz - 50.5 Hz); durante todo o período, deverá manter-se compreendida entre os 50 Hz $+4/-6\%$ (47 Hz - 52 Hz) [36].

Em relação às variações do fornecimento da tensão, o intervalo de avaliação é semanal, sendo medido o valor médio eficaz da tensão (V_{RMS}) de cada ciclo durante intervalos de 10 minutos. Durante 95% do período de avaliação, o V_{RMS} deve situar-se no intervalo $V_{RMS} \pm 10\%$; para todos os períodos de 10 minutos, todos os valores médios do V_{RMS} devem situar-se no intervalo $V_{RMS} + 10\% / -15\%$ [36].

As perturbações temporárias podem esquematizar-se da seguinte forma:

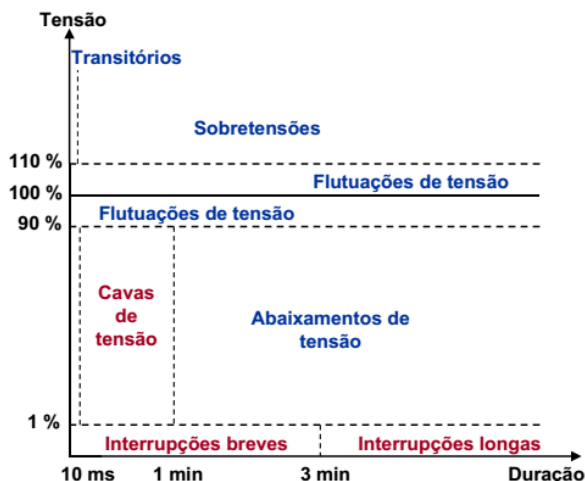


Figura 3.3 - Tipos de perturbações temporárias [37]

Através da figura 3.3, define-se cava de tensão como uma diminuição brusca da tensão de alimentação para um valor situado entre os 90% e 1% da tensão declarada ou, interrupções breves como uma interrupção de alimentação com duração igual ou inferior a 3 minutos ou, interrupção longa como uma interrupção de alimentação com duração superior a 3 minutos e sobretensões quando o valor da tensão declarada é superior a 110 %. Reserva-se o termo de transitórios para manobras cuja duração seja inferior a 10 milissegundos.

Caso o V_{RMS} não se encontre dentro dos limites aceitáveis, as consequências podem resultar em falhas de energia, atuação dos disjuntores e interruptores diferenciais, aquecimento de equipamentos e funcionamento ruidoso, acabando por provocar a diminuição do rendimento e originar paralisações inesperadas. Nos equipamentos mais sensíveis, como no caso das comunicações, as cavas e interrupções de tensão podem originar perdas de dados nos dispositivos eletrónicos.

No CFMTFA existe bastante equipamento informático e de escritório, que para o seu correto funcionamento os limites da tensão necessitam de estar bem definidos. Assim, os limites de tolerância do equipamento para cavas de tensão, interrupções breves e sobretensões, encontram-se estabelecidos na curva *Computer Business Equipment Manufacturers Association* (CBEMA). Note-se que esta curva deve ser considerada numa perspetiva meramente indicativa, não devendo ser generalizada para todos os equipamentos.

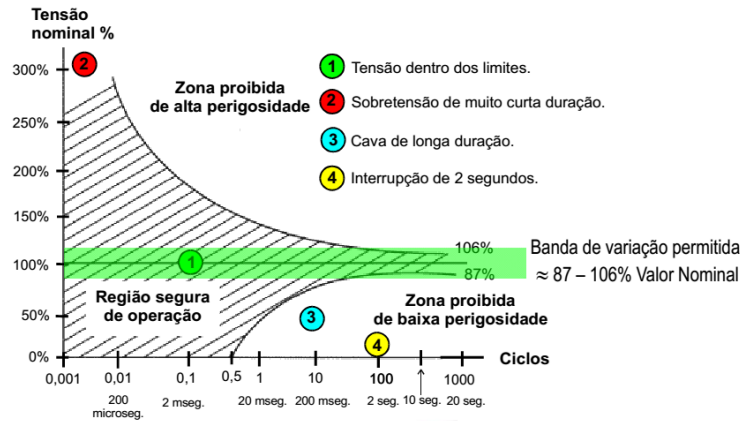


Figura 3.4 - Curva CBEMA [37]

No CFMTFA, os multímetros instalados não possibilitam a visualização da forma de onda. Estes apenas fornecem em intervalos de 15 minutos os valores da tensão e de frequência. Assim, devido ao grande intervalo de tempo da medição não é possível aferir se existe *flicker* ou cavas de tensão.

Os registos de frequência começaram a ser gravados a 22 de setembro de 2014, não tendo entretanto ocorrido nenhuma violação dos limites previstos, como seria de esperar uma vez que os sistemas T&D apresentam um bom nível de desempenho e existem várias interligações à rede europeia.

A geração nas centrais eletroprodutoras é realizada em sistema trifásico de tensões equilibrado, sendo este caracterizado por 3 tensões sinusoidais de igual amplitude e defasamento entre si de 120°. Se o V_{RMS} nas fases ou as defasagens entre tensões de fases consecutivas num sistema trifásico não são iguais, diz-se que o sistema se encontra desequilibrado. Na sua origem está a incorreta distribuição das cargas na rede de distribuição, ou quando se está em presença de significativas cargas monofásicas.

O método exato para calcular o fator de desequilíbrio das tensões (u_u) é dado por [38]:

$$u_u = \sqrt{\frac{(1 - \sqrt{3 - 6\beta})}{(1 + \sqrt{3 - 6\beta})}} \quad (13)$$

Onde:

$$\beta = \frac{(V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4)}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2} \quad (14)$$

V_{AB} – Tensão Composta entre a fase A e fase B [V];

V_{BC} – Tensão Composta entre a fase B e fase C [V];

V_{CA} – Tensão Composta entre a fase C e fase A [V].

Em muitos países da Europa inclusive Portugal, para BT o u_u deve ser inferior ou igual a 2%. Aplicando as equações 13 e 14 e com base nas medições das tensões compostas em cada PT, verificou-se apenas uma situação no PT1 onde as fases não se encontravam equilibradas.

Este fator de qualidade afeta diretamente as máquinas girantes, sendo o rendimento inversamente proporcional ao fator de desequilíbrio. Assim, este fator deverá ser alvo de monitorização de maneira a garantir o correto

funcionamento de todo o equipamento da instalação. O desequilíbrio das tensões provoca um alto aumento da intensidade de corrente, degradando o equipamento e reduzindo o seu tempo de vida útil, como se verifica na figura 3.5.

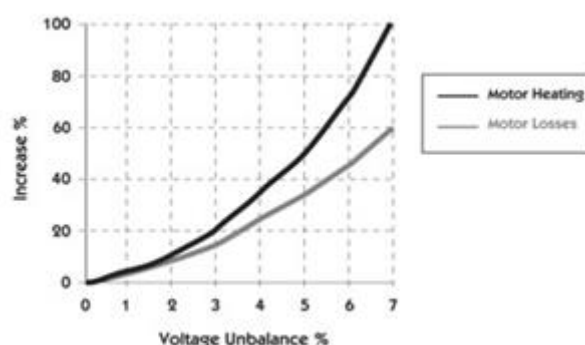


Figura 3.5 - Aumento do aquecimento nos motores vs fator de desequilíbrio [39]

Por forma a vigiar este fator é aconselhável a realização de inspeções periódicas das tensões nos barramentos, bem como de termografias aos condutores nas saídas dos barramentos. Assim, garante-se que este fator se encontra dentro dos limites legais, bem como se os condutores estão sobreaquecidos. Caso esta situação se verifique, as cargas poderão não estar bem distribuídas, situação que deverá ser corrigida.

A distorção harmónica traduz-se na deformação da forma de onda de tensão ou de corrente sinusoidal à frequência fundamental que, aquando a existência de cargas não lineares na rede, as quedas de tensão provocadas pelos harmónicos nas impedâncias das linhas resultam numa distorção na tensão de alimentação. Em todos os setores industriais, comerciais e domésticos existe este tipo de cargas, tratando-se assim uma perturbação contínua, o que obriga a uma especial atenção a esta temática.

As harmónicas traduzem-se em tensões ou correntes sinusoidais com frequências múltiplas inteiras da componente fundamental, sendo classificadas pela ordem, frequência e sequência de acordo com a tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Classificação de harmónicas

Ordem	Fund.	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	...	n
Frequência [Hz]	50	100	150	200	250	300	350	400	...	n*50
Sequência	+	-	0	+	-	0	+	-

A ordem da harmónica relaciona-se com o múltiplo da frequência fundamental. As sequências positiva (+), negativa (-) e neutra (0), estão relacionadas com o sentido de rotação do campo girante criado pela respetiva harmónica, em relação ao campo girante induzido pela componente fundamental. O sentido de rotação é peculiarmente importante nas máquinas girantes, uma vez que as harmónicas de sequência diferente originam binários com sentidos diferentes, o que afeta o comportamento do equipamento. As harmónicas podem também ser classificadas como pares ou ímpares, tendo as ímpares origem de corrente alternada e as pares de CC.

As harmónicas podem ser visualizadas através de um osciloscópio com capacidade de representar o espectro harmónico ou em analisadores de espectro analógico. Neles, é possível observar quais as harmónicas mais

significativas, bem como a sua amplitude. Nas redes trifásicas, as harmónicas de maior importância são as de ordem ímpar, sendo as mais significativas as de ordem 3, 5, 7, 9 e 11 [40].

De maneira a quantificar a distorção harmónica é calculada a taxa de distorção harmónica (THD), que resulta do quociente entre o valor eficaz das componentes harmónicas e o valor eficaz da componente fundamental segundo a equação 15. Com este parâmetro é possível concluir sobre o quanto a tensão e a intensidade de corrente são afetadas pelas componentes harmónicas.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} S_{n(RMS)}^2}}{S_{1(RMS)}} * 100 [\%] \quad (15)$$

A forma como a distorção harmónica afeta os equipamentos depende em grande parte da suscetibilidade do equipamento e das características da rede, sendo o equipamento eletrónico o mais perturbador. Esta distorção manifesta-se através do aumento do valor eficaz da corrente ou através da deformação das formas de onda da tensão e de corrente [40].

O aumento do valor eficaz da corrente provoca um aumento de temperatura dos componentes elétricos, provocando a degradação de isolamento, diminuição de rendimento e ineficácia dos sistemas de proteção, o que consequentemente reduz a vida útil do equipamento. O prejuízo associado às harmónicas origina, também, a sobrecarga e envelhecimento das máquinas girantes, transformadores e condensadores [41]. Todas estas perturbações provocam um impacto económico na medida que obrigam à substituição antecipada do material, a menos que este seja sobredimensionado, o que, se for o caso, aumenta o custo inicial da instalação. Também as deformações da corrente provocam disparos intempestivos, forçando a paragem inopinada das instalações.

Segundo a NP EN 50 160, a THD de tensão até à ordem 40 não deve exceder os 8%. Desta forma, para limitar a propagação das harmónicas na rede poderão adotar-se medidas que passem pela redução de carga nos transformadores sobreaquecidos, recablar ou redistribuir cargas de forma a reduzir as impedâncias e isolar as cargas não lineares o mais a montante possível, ou também, aplicar filtros de harmónicas passivos, ativos ou híbridos.

Os multímetros de energia instalados apenas possibilitam a visualização da THD instantaneamente não procedendo ao seu registo, de forma que não se torna possível analisar com rigor este parâmetro na Unidade. Assim sendo, não é possível retirar ilações sobre a forma como os equipamentos instalados são afetados pela componente harmónica da tensão e da corrente.

[Página intencionalmente em branco]

4. Auditoria Energética ao CFMTFA

*“O que não pode ser medido,
não pode ser melhorado.”*
Lord Kelvin (1824-1907)

Neste capítulo são caracterizadas as redes energéticas de distribuição GPL e de EE no CFMTFA, desde o processo de fornecimento, passando pela distribuição até aos pontos de consumo. São analisados os setores de consumo relevantes com base numa amostra temporal de um ano, permitindo assim identificar as áreas de atuação. O consumo de Energia Reativa (E_Q) na Unidade é analisado bem como os seus encargos. Determinam-se os encargos associados ao consumo de E_Q para caso esta não fosse compensada. Dimensiona-se ainda a potência de compensação a instalar para minimizar este consumo e encargo.

O CFMTFA assume-se como uma base de instrução, sendo a missão principal ministrar formação militar, humanística, técnica e científica ao pessoal da FA [42]. As infraestruturas existentes são de múltiplos tipos, nomeadamente salas de aulas e de formação, alojamentos, moradias, messe, oficinas, edifícios de administração, hangares, etc. Contudo, o número de colocados na Unidade depende diretamente das recrutas e cursos ministrados, bem como é variável ao longo do ano.

4.1 Caracterização do consumo de energia em edifícios e infraestruturas

A identificação das áreas de maior consumo constitui um passo importante numa auditoria energética. Porém, a variedade de tipologias dos edifícios do CFMTFA dificulta as medidas de atuação. A desagregação do consumo por equipamento em cada edifício ou infraestrutura é difícil de obter, devido à vasta panóplia de equipamentos existentes. Contudo, com base em estudos estatísticos é possível quantificar percentualmente os grupos de utilizadores de maior consumo energético.

De forma a obter um melhor enquadramento, podemos verificar que no setor residencial em Portugal, o consumo de energia distribui-se da seguinte forma:

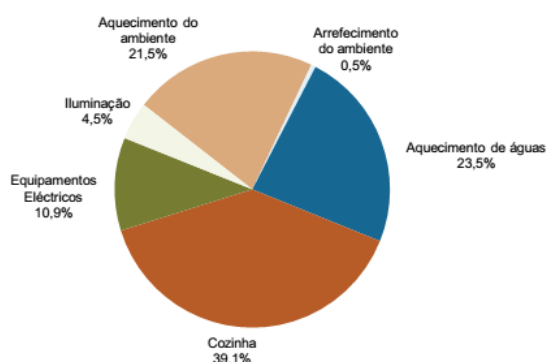


Figura 4.1 - Consumo de energia nos alojamentos em Portugal [43]

Verifica-se que é nas cozinhas onde se concentra a maior parte do consumo global, seguido da produção de AQS e do aquecimento do ambiente. Em oposição, o arrefecimento do ambiente e a iluminação constituem a parcela menor do consumo. Para esta caracterização foram tidos em conta todos os tipos de energia.

Uma maior desagregação do consumo por setores foi apresentada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (EUA), conforme consta na figura 4.2.

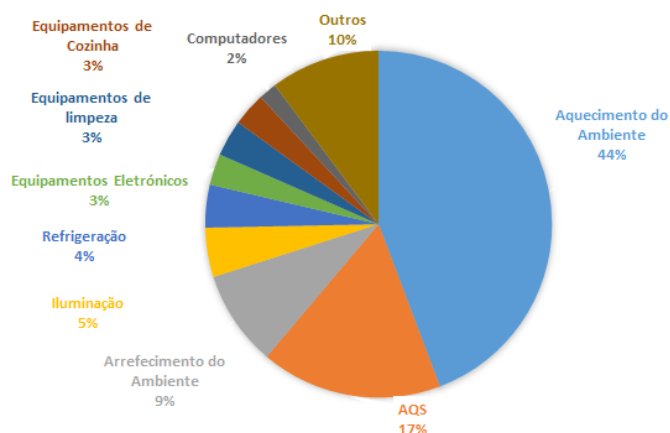


Figura 4.2 - Estimativa do consumo de energia nos edifícios residenciais por utilização final nos EUA em 2015 [44]

Nesta análise é contabilizado o consumo dos equipamentos de cozinha, de limpeza, refrigeração e de computadores o que para o nosso caso é bastante útil devido à existência destes mesmos tipos de equipamento. Assim, esta caracterização mais minuciosa auxilia o trabalho do Gestor de Energia na seleção de soluções de eficiência energética.

Contudo, há que ressaltar o facto da diferença climática entre os EUA e Portugal ser substancial, pelo que as necessidades energéticas referentes à climatização e AQS podem diferir bastante. O setor da cozinha é o que apresenta a maior diferença a nível energético, uma vez que o estudo norte-americano desagrega o consumo dos equipamentos de restauração. No entanto, o gasto energético neste setor é superior em Portugal.

4.2 Descrição da Rede de Distribuição de Gás de Petróleo Liquefeito no CFMTFA

A rede de distribuição de GPL do CFMTFA inclui dois depósitos com 50 m³ de capacidade cada, os quais, através de uma rede de tubagem subterrânea, asseguram o abastecimento a toda a Unidade. Aqueles depósitos estão dotados de um equipamento de monitorização, o qual emite um alerta ao fornecedor externo sempre que o nível do depósito for inferior a 30%. O abastecimento é feito por uma entidade externa através de camiões cisterna, sendo o controlo feito exclusivamente pela medição constante na fatura. Nesta consta a quantidade de quilogramas de GPL que foram transferidos para os depósitos. Contudo, o contador instalado mede o consumo em metros cúbicos.

As propriedades dos gases alteram-se consoante as condições de pressão e temperatura no local de medição. A densidade do GPL no estado líquido é diferente no estado gasoso, devendo por isso a pressão existente no primeiro andar de redução ser tida em consideração na conversão de quilogramas para metros cúbicos. O cálculo de conversão traduz-se na equação 16:

$$Q = M * V * \left(\frac{P_s + P_{atm}}{P_{atm}} \right) \quad (16)$$

Onde:

- Q - Quantidade de GPL [kg];
- M – Massa específica do GPL (2 kg/m³);
- V - Quantidade de GPL [m³];
- P_s - Pressão no manómetro do primeiro andar de redução [bar];
- P_{atm} - Pressão atmosférica [bar] (P_{atm}=1.01325 bar).

Esta conversão permite aferir com rigor os consumos de GPL, bem como analisar os seus padrões de consumo. Os equipamentos instalados consumidores de GPL são os geradores de vapor, os fogões instalados na messe e caldeiras de produção de AQS e de água quente para aquecimento.

Uma vez não existir equipamento de monitorização dos consumos de GPL não é possível fazer a desagregação do consumo de GPL.

A evolução do consumo deste tipo de energia na Unidade em estudo e os encargos inerentes poderão ser reproduzidos de acordo com a seguinte figura:

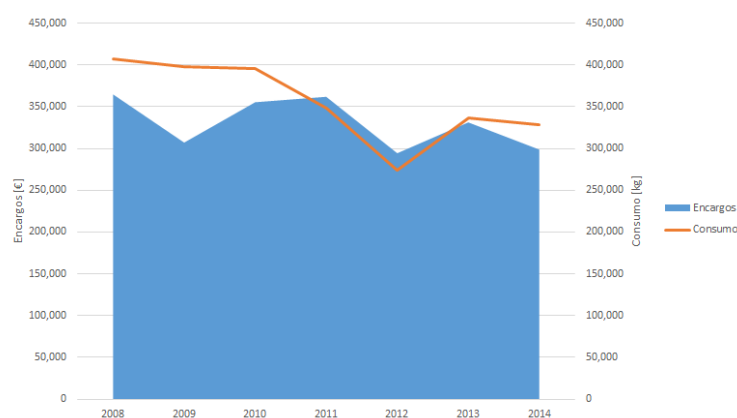


Figura 4.3 - Comparação entre os Consumos e Encargos com GPL (CLAF/DI)

Analogamente à EE, as diminuições de consumo não se traduzem imediatamente em reduções de encargos. Durante o período em análise (2008 a 2014) verificou-se uma redução do consumo em torno dos 19%, tendo este consumo seguido uma tendência normalmente descendente. No ano de 2012 não houve admissões de praças e de oficiais contratados na FA, o que provocou uma diminuição do consumo. Como no ano seguinte esta situação não se repetiu, as necessidades energéticas aumentaram.

Em relação ao encargo com o GPL, este não segue uma linha de orientação constante. No mesmo período, o encargo com o GPL diminuiu cerca de 18%, fixando-se o preço global médio do GPL em torno dos 0.07€/kWh²².

4.3 Descrição da Rede de Distribuição de Energia Elétrica no CFMTFA

A rede de distribuição de EE no CFMTFA pode ser esquematizada de acordo com a figura 4.4.

²² 1 kg = 12.778 kWh

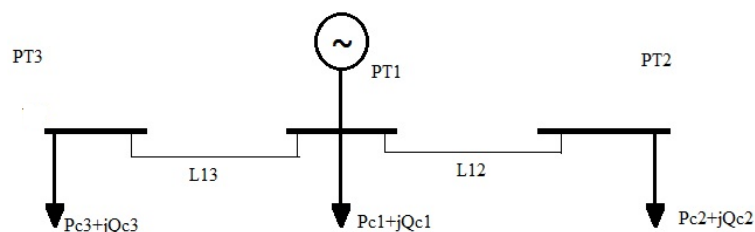


Figura 4.4 - Rede de distribuição de EE no CFMTFA

Como referido anteriormente na secção 3.3, o CFMTFA possui três PT, sendo o PT1 o principal pelo facto de ser o recetor de EE por parte do fornecedor externo.

Como em todos os sistemas, existe a possibilidade de interrupção de EE. Aquando esta situação, entram em funcionamento dois GG compostos por alternadores de potência aparente igual a 360 kVA cada, instalados no PT1. Cada alternador está acoplado mecanicamente a um motor diesel de 4 tempos de potência nominal 323 kW. A autonomia dos GG depende da quantidade de diesel que se encontra no sistema de armazenamento exclusivo para alimentar os motores dos GG. Este sistema é composto por um depósito com capacidade de 2.5 m³, mais um depósito externo com a mesma capacidade onde são feitos os abastecimentos por parte do fornecedor externo. Isto significa que o depósito principal permite que os GG forneçam à plena carga 10 343 kWh²³ (valor aproximado) de energia. Assim, quer no funcionamento regular, quer em emergência, apenas existe geração de energia neste PT.

Para estes assegurarem a continuidade do serviço, é necessário que o Inversor Rede-Grupo atue. Este Inversor pode consistir num par de disjuntores ou conectores motorizados, que estando acoplados mecânica e eletricamente, permitem que a carga se encontre ligada ao fornecedor externo ou ao GG. Para que a inversão seja realizada corretamente, é necessário que o disjuntor associado à rede pública seja disparado antes da ligação ao GG. A sua representação encontra-se esquematizada no anexo B.

No entanto, é necessário fornecer EE aos restantes PT. Para tal, é necessário a ligação dos GG aos PT que estejam ligados ao quadro do PT1, por intermédio de um disjuntor motorizado (Interruptor de Reversão). Os transformadores que até agora funcionavam como abaixadores, passam a ser transformadores elevadores, elevando a tensão para MT. O esquema de ligação encontra-se no anexo C.

No ano de 2014, o mês de janeiro foi o de maior consumo de EE, tendo-se registado um valor de 174 916 kWh. Isto significa que os GG conseguiriam assegurar cerca de 12% do consumo no mês de maior consumo, correspondendo a 89 horas. No entanto, há que ter em consideração que o consumo de diesel aumenta à medida que a carga diminui, havendo uma variação de 13%²⁴. Desta forma, na pior das hipóteses os GG apenas assegurariam 77 horas de fornecimento de EE à Unidade, sem reabastecimento dos depósitos. Realça-se o facto de que o cálculo foi feito para o mês de maior consumo em 2014, estando a autonomia dos GG sempre dependente da carga que estão a alimentar.

O equipamento de monitorização encontra-se instalado no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) de cada PT, estando ligado à rede Intranet da FA, através da plataforma *PowerLogic ION Enterprise*® onde, em tempo real, é possível visualizar e registar grandezas elétricas como a tensão, corrente, energia ativa (E_P) e E_Q e frequência, entre outras. O equipamento em questão são os multímetros de energia para redes de BT

²³ $\rho=844 \text{ kg/m}^3$ e consumo de 204 g/kWh

²⁴ Consumo de 230 g/kWh para 25% da carga

Power Meter 210 (PM210) e Power Meter 710 (PM710) da Schneider Electric. A instalação destes equipamentos permite não só acompanhar a evolução do consumo de EE na Unidade, como permite também estabelecer e analisar diagramas de carga. Desta forma é possível identificar os pontos intensivos de consumo, sendo estes os focos com maior potencial de melhoria e assim atribuir prioridades às ações que, visem a racionalização do consumo energético.

Por outro lado, de modo a compensar o fator de potência, cada PT encontra-se dotado de um banco de baterias de condensadores. O estudo deste tipo de compensação será aprofundado na secção 4.5.

4.4 Consumo de EE

Nesta secção pretende-se descrever o consumo de EE desagregado no CFMTFA, partindo de uma perspetiva global. Em relação aos dois últimos anos, o consumo de EE encontra-se ilustrado na seguinte figura:

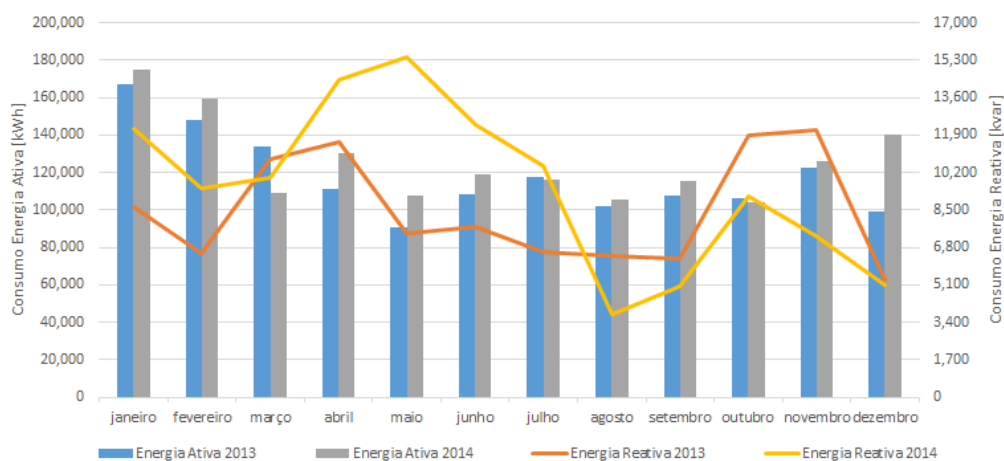


Figura 4.5 - Consumo de EE no CFMTFA em 2013 e 2014 (CLAFAD/I)

Através da figura 4.5 verifica-se que houve apenas 3 meses (março, julho e outubro) em que o consumo de E_P foi inferior em 2014, face a 2013, situando-se nos restantes períodos sempre num valor superior. A menor variação de consumo de E_P entre o biénio 2013/2014 verificou-se no mês de julho, onde a diferença é de 0.95%. Em termos anuais, houve um incremento anual de 7% no consumo de E_P .

Em relação à E_Q , em metade do ano de 2014 verificou-se que o consumo foi superior em relação a 2013, tendo-se registado um aumento de 13%. A menor e maior variação foi registada em dezembro e maio, respetivamente. O preço médio da unidade de EE para 2013 e 2014 foi de 0.14 €/kWh e 0.13 €/kWh, respetivamente.

Conforme se verifica na figura 4.5, o mês de janeiro foi consecutivamente, no biénio 2013/2014, o mês em que se registou maior consumo. Assumindo que a mesma situação se mantém no ano de 2015, selecionou-se o período de 5 a 11 de janeiro de 2015 para particularizar o consumo de EE na Unidade, pelo facto de ter sido a semana onde se registou o pico mensal de consumo. Pretende-se assim estabelecer um diagrama de carga semanal tipo, com base no período de maior consumo.

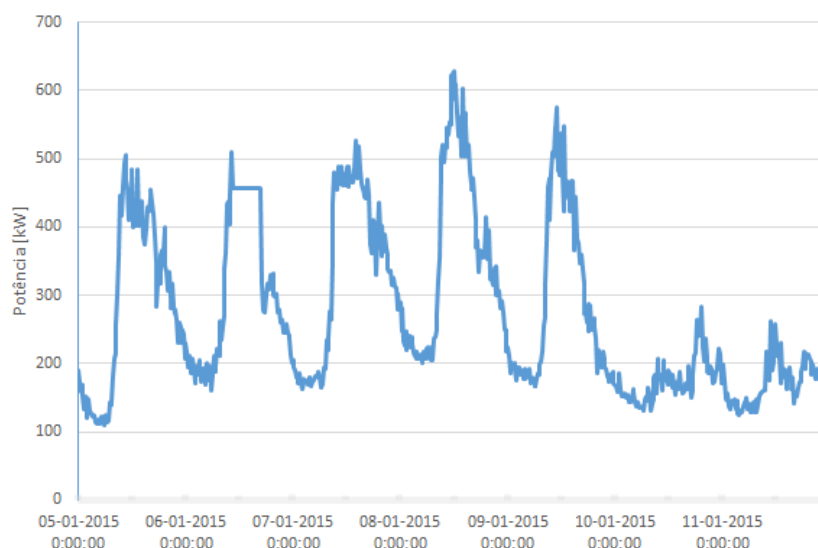


Figura 4.6 - Diagrama de carga (5 a 11 de janeiro de 2015) (CLAF/DI)

Através da análise da figura 4.6 verifica-se que há um padrão de consumo cíclico nos dias úteis, sendo este consumo superior ao do fim de semana. Existem algumas variações entre os dias úteis, tendo-se registado no dia 8 (quinta-feira) o maior pico de consumo. Uma das razões que originaram este consumo elevado relaciona-se com as baixas temperaturas sentidas no concelho de Alenquer naquele dia, que resultaram num consumo adicional de energia por parte dos equipamentos de aquecimento [45]. Em todo o período de análise o consumo instantâneo nunca foi inferior a 110 kW, devido aos equipamentos de funcionamento permanente.

Procurou-se desagregar o consumo de EE por PT, de forma identificar com o maior rigor possíveis setores com maior expressão. Assim para o período em análise obteve-se a seguinte figura:

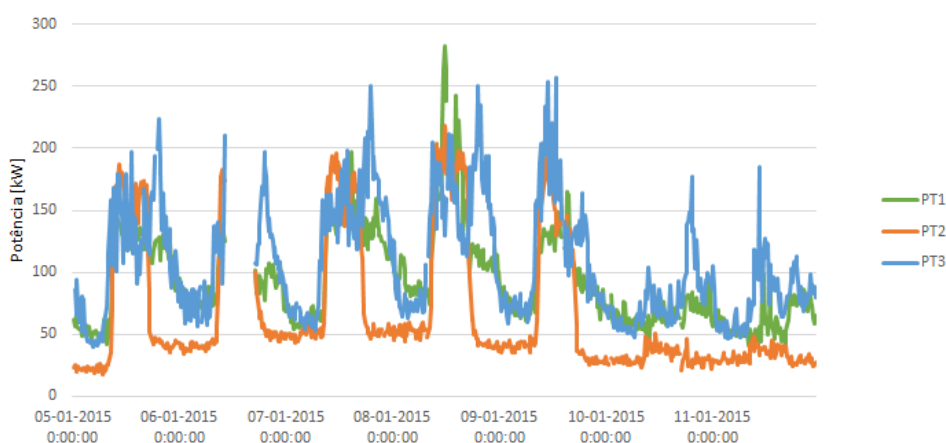


Figura 4.7 - Diagrama de carga semanal por PT (5 a 11 de janeiro de 2015) (CLAF/DI)

No dia 6 verificou-se uma anomalia nos registos das grandezas elétricas entre as 10h30 e as 17h00, o que resulta num período de 6h30 horas sem medições. Esta falha de registos não permite retirar ilações sobre este dia em particular, uma vez que abrange grande parte do período laboral. No entanto é expectável que o padrão seja semelhante ao dos dias úteis.

Através da análise consegue-se facilmente identificar o horário laboral, uma vez que o consumo aumenta significativamente, sendo esta diferença notoriamente mais clara no PT2. Este aumento de consumo deve-se à natureza das cargas que cada PT assegura, estando elas distribuídas da seguinte forma:

- PT1 – Edifícios administrativos e alojamentos;
- PT2 – Zona de formação (salas de aulas e hangares);
- PT3 – Messe, ginásio e zona residencial.

Nos três PT, como seria de esperar, existe um comportamento cíclico no padrão de consumo. No entanto existem oscilações de consumo, principalmente no PT3 onde se verifica a frequente ocorrência de curtos intervalos de tempo curtos de consumo de elevada amplitude. Isto deve-se aos períodos de funcionamento das messes e cozinha, bem como ao do grupo de captação de água subterrânea.

Em termos globais, o PT3 assegurou o fornecimento de EE a 40% da Unidade em estudo, seguido do PT1 com 35% e do PT2 com 25%.

Particularizando a análise para o dia de maior consumo, a distribuição é feita da seguinte forma:

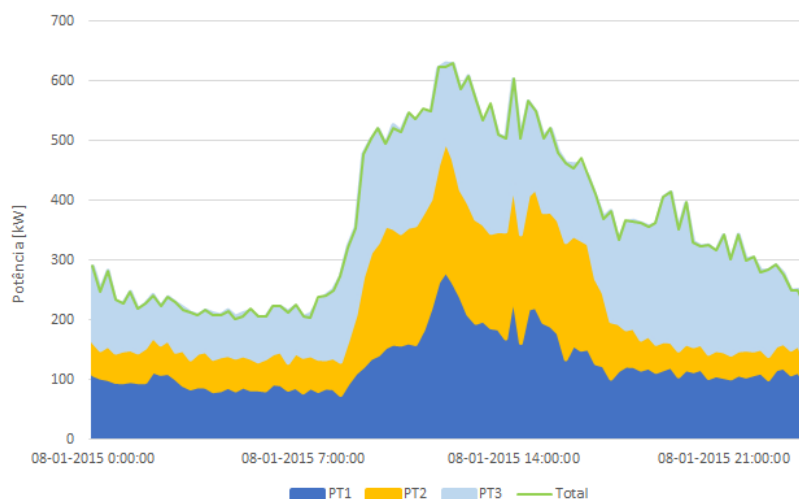


Figura 4.8 - Diagrama de carga diário - 8 de janeiro de 2015 (CLAFAD/I)

Neste dia em particular, a contribuição de cada PT é diferente da média semanal. O fornecimento de EE é assegurado em grande parte pelos PT1 e PT3. Fora do horário de trabalho registaram-se os mínimos de consumo do PT1 e PT2 devido à natureza das suas cargas. Em relação ao PT3, o pico de consumo ocorre pelas 19h15, o que não coincide com a ponta global diária verificada às 12h00, como é o caso do PT1 e do PT2.

As figuras anteriores permitem concluir, de uma forma aproximada, sobre como o consumo de EE é distribuído pelos três PT instalados, bem como traçar o perfil de consumo a eles associado. No entanto, para retirar ilações relativamente ao consumo na Unidade é necessário uma abordagem mais global. Assim, optou-se por analisar um período de 365 dias, compreendido entre os dias 1 de maio de 2014 e 1 de maio de 2015. Sendo o período de amostragem amplo, é possível precisar com algum rigor quais os setores de maior consumo no CFMTFA.

Em todos os PT existem barramentos, denominados como “Outros” que do ponto de vista do projetista e devido à baixa potência instalada, não constituem interesse em serem analisados, pelo que não se justificou a instalação de equipamento de monitorização.

Durante o período de análise foram consumidos 1541 MWh, dos quais o PT3 assegurou 46.16% do consumo, seguido do PT1 com 33.84%, sendo os restantes 20% assegurados pelo PT2. A este consumo esteve associado um encargo de 216 215.19€, o que conduz a um preço médio de 0.14 €/kWh.

Como o consumo não é uniforme para todos os barramentos ligados ao QGBT, desagregou-se o consumo por barramento em cada PT. Para caracterização dos barramentos manteve-se a denominação que consta na plataforma, pelo que eventualmente poderão haver barramentos com a denominação desatualizada.

Referente aos barramentos que são monitorizados no PT1, o consumo é distribuído da seguinte forma:

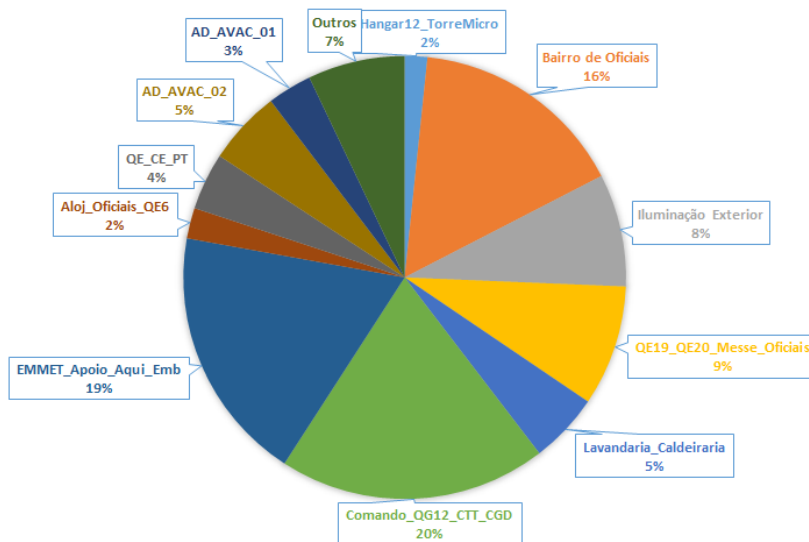


Figura 4.9 - Desagregação do consumo no PT1 (CLAF/DI)

De acordo com a figura 4.9 verifica-se que os edifícios administrativos, de apoio e de manutenção, representam significativamente o consumo assegurado pelo PT1, face à sua taxa de ocupação e à especificidade das cargas instaladas. É importante ainda referir que ligados a este PT se encontram o Centro de Informática e o Centro de Cópias, que representam dois pontos de elevado consumo. O equipamento elétrico que se encontra nestes edifícios é fundamentalmente constituído por computadores de secretária, impressoras, fotocopiadoras e lâmpadas tubulares fluorescentes de variada potência. Os espaços sanitários encontram-se dotados de sensores de presença, evitando desta forma o desperdício involuntário de EE.

O bairro de Oficiais, devido ao seu carácter residencial surge como o 3º setor de maior consumo. No entanto, como é celebrado um contrato de arrendamento, existe um pagamento pelo serviço prestado. O QE19 e QE20, referentes ao alojamento e clube de Oficiais respetivamente, demonstram um consumo relativamente significativo, devido ao carácter doméstico dos edifícios. A iluminação exterior, face ao seu elevado tempo de funcionamento, principalmente durante os meses de outubro a março, representa 8% do consumo do PT1²⁵.

O aquecimento realizado pelo sistema solar termodinâmico (SST) “AD_AVAC” merece um cuidado especial na sua análise. Apesar de ter entrado em funcionamento apenas em 19 de fevereiro de 2015, ou seja em apenas 5.21 % (70 dias) do período de análise, o seu consumo representa cerca de 8% da totalidade do consumo. O funcionamento do SST bem como a viabilidade da sua instalação serão estudados mais à frente nesta dissertação.

²⁵ A iluminação exterior não é alimentada exclusivamente pelo PT1, ainda que a maioria tenha origem neste PT.

O setor “Lavandaria_Caldeiraria” foi desativado recentemente, sendo os serviços de hotelaria prestados por uma empresa externa. Como o encargo energético era superior face à contratação do serviço, optou-se pela medida de *outsourcing*.

Em relação ao PT2, a distribuição das cargas vem:

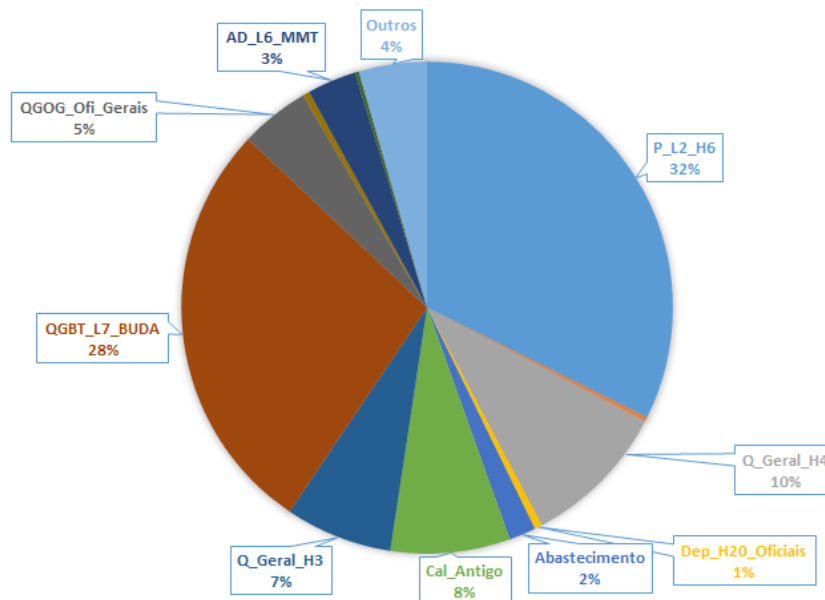


Figura 4.10 - Desagregação do consumo no PT2 (CLAFA/DI)

O departamento escolar localizado nos hangares 4²⁶, 5²⁷ e 6²⁸ representa uma grande parcela do consumo, devido ao elevado número de salas existentes em cada núcleo. As diferentes áreas e escolas encontram-se divididas pelas 101 salas e laboratórios existentes. Em regra geral, cada sala encontra-se equipada com 1 computador de secretária, 1 projetor e 4 luminárias com 2 lâmpadas. Em cada núcleo de ensino existe um gabinete para o diretor e outro para os instrutores, perfazendo um total de 28 gabinetes. Estes gabinetes estão dotados de 1 computador de secretária individual para cada diretor e instrutor, 1 impressora por núcleo e cerca de 3 luminárias com 2 lâmpadas. Acresce ainda o facto de existirem áreas oficiais e bancadas de trabalho, dotadas de equipamento variados, com vista à formação dos instruendos e/ou formandos. Os hangares são constituídos por chapas metálicas opacas que não permitem a passagem de luz natural, sendo necessário por isso recorrer frequentemente a iluminação artificial.

No entanto, os equipamentos de consumo significativo nos hangares são os dispositivos de AVAC, mais concretamente os AC. O sistema de climatização está instalado por forma a que o calor seja extraído de dentro dos contentores onde são lecionadas aulas, para dentro do hangar. De certo modo, está-se a arrefecer um contentor pequeno aquecendo um maior, onde o pequeno se insere, o que se considera uma medida profundamente ineficiente, em termos energéticos. Existem também salas que devido ao equipamento que albergam necessitam de condições de temperatura e humidade específicas, o que implica um contínuo funcionamento de radiadores e desumidificadores. Noutras salas porém, são utilizados apenas para aumenta do conforto do ar interior.

²⁶ Barramento “Q_Geral_H4”

²⁷ Barramento “QGBT_L7_BUDA”

²⁸ Barramento “P_L2_H6”

Como se verifica na figura 4.10, é nos hangares que é consumida 70% de EE devido aos 41, 31 e 2 equipamentos de AC instalados nos hangares 6, 5 e 4, respetivamente.

Por fim, no PT3 as cargas distribuem-se da seguinte forma:

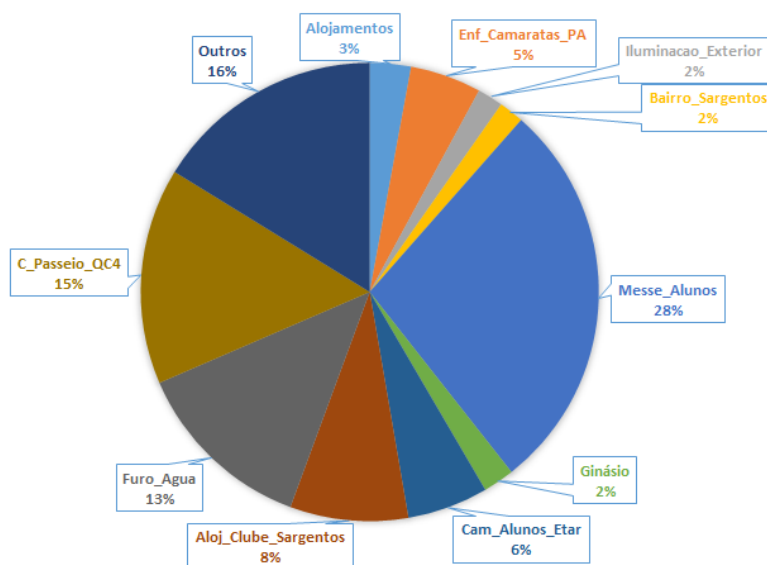


Figura 4.11 - Desagregação do consumo no PT3 (CLAFA/DI)

Como se pode verificar na figura 4.11, é o setor da messe que representa o maior consumo energético do PT3. Tal facto deve-se essencialmente aos equipamentos de confeção das refeições, nomeadamente os fornos elétricos e fritadeiras basculantes, bem como à unidade de extração e de tratamento de ar (UTA). Todos estes equipamentos, devido à elevada potência instalada e ao elevado tempo de funcionamento resultam em equipamentos de elevado consumo energético.

O barramento “C_Passeio_QC4” monitoriza o consumo das câmaras frigoríficas da messe, bem como o edifício QB04. As nove câmaras frigoríficas têm instalado equipamento de refrigeração que, por trabalharem de forma ininterrupta, constituem a parcela significativa do consumo deste setor.

O CFMTFA não possui um fornecedor externo de água potável, uma vez que esta é captada no interior da Unidade. A captação de água subterrânea é feita em dois locais, cada um deles equipado com um grupo eletrobomba de potência nominal de 18.5 kW, que bombeia a água para uma cisterna. Nesta cisterna encontra-se um sistema de tratamento de água por osmose inversa, o qual possui uma bomba de potência nominal de 15 kW. Desta cisterna, a água potável é bombeada para distribuição, para dois reservatórios a uma cota superior, que se encontram no bairro de Oficiais e no de Sargentos. O desnível entre o reservatório do bairro de Sargentos e os pontos de consumo é reduzido, havendo por isso necessidade de aumentar a pressão nas condutas de abastecimento, por intermédio de uma bomba de pressurização. O abastecimento garantido pelo reservatório do bairro de Oficiais é realizado por gravidade. Os grupos eletrobomba estão equipados com variadores eletrónicos de velocidade, o que permite otimizar o funcionamento dos motores elétricos. Ainda assim, o regular funcionamento destes sistemas traduz-se num consumo significativo de EE.

Os períodos de funcionamento dos grupos são facilmente identificados nos diagramas de carga diários uma vez que estes equipamentos são de elevada potência. Apesar de diretamente o consumo de água potável não

constituir um encargo, isto não é inteiramente verdade, uma vez que todo o sistema de captação, tratamento e distribuição de água implica custos inerentes ao consumo de energia.

Analogamente ao verificado no PT1 com o bairro de Oficiais, o mesmo carácter residencial de consumo verifica-se no setor dos alojamentos e do clube de Sargentos. O barramento que alimenta a enfermaria assegura também uma unidade de lavandaria comum para uso de todas as pessoas colocadas na Unidade, o que representa a maior parcela do consumo neste barramento.

Contudo, é também interessante referir que as marmitas instaladas na messe revelam-se equipamentos de elevado consumo energético. Estes aparelhos são alimentados a vapor de água, o qual é gerado localmente numa caldeira a GPL, fornecendo assim vapor de água para a confeção de alimentos, bem como para aquecimento ambiente dos alojamentos destinados aos alunos.

Em todos os setores analisados, notou-se que relativamente à iluminação artificial se utilizam lâmpadas fluorescentes tubulares de variada potência sem regulação de fluxo luminoso. As luminárias podem conter 1, 2 ou 3 lâmpadas, sendo que a maioria são de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W.

Numa perspetiva global é necessário ter em conta o facto da distribuição por parte dos PT não ser uniforme. Assim ordenam-se os setores com base no consumo total verificado no ano em análise.

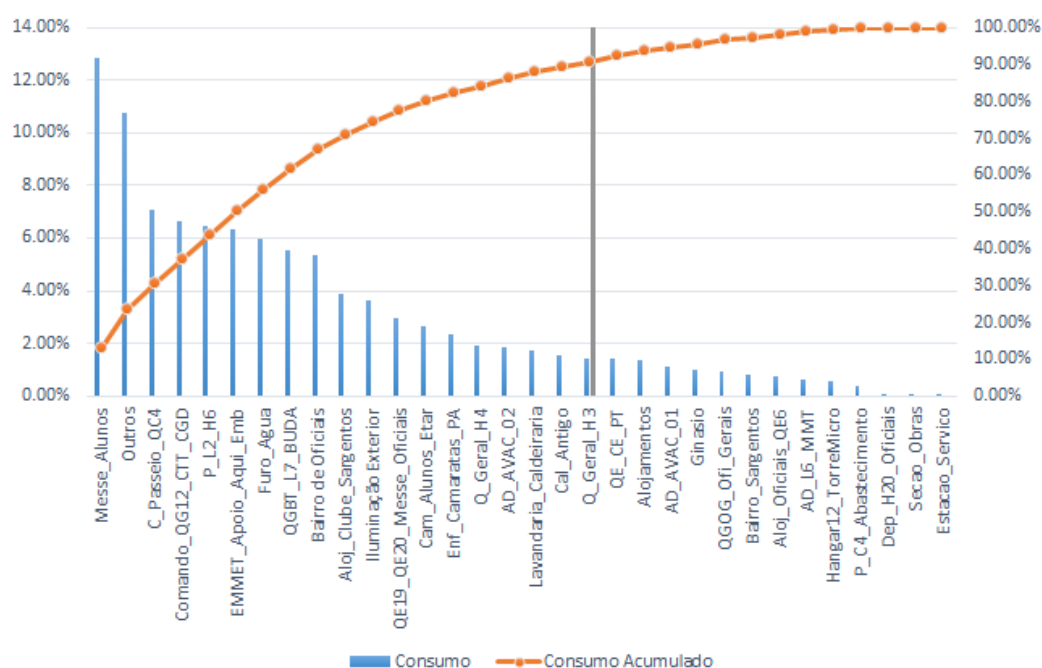


Figura 4.12 - Consumo Total de EE desagregado (01 de maio de 2014 a 01 de maio de 2015)

Através do diagrama de Pareto (Figura 4.12) ordenam-se os barramentos de forma decrescente do seu consumo, permitindo identificar e priorizar os setores onde interessa intervir. Segundo Juran [46] e com base nas experiências de Pareto [46] opta-se por intervir nos 80% dos consumos significativos, não sendo alvo de análise os restantes 20%. Note-se que os equipamentos incluídos em “Outros” constituem cerca de 11% do consumo global de toda a Unidade, mas que devido à sua complexidade de análise não serão incluídos na panóplia de setores a intervencionar.

Dos dezoito barramentos que constituem 80% do consumo de EE de todo o CFMTFA, sete encontram-se no PT1, seis no PT3 e os restantes cinco no PT2. As medidas que conduzem à diminuição deste consumo estão apresentadas no capítulo 5 desta dissertação.

As cargas onde se deverá intervir encontram-se alimentadas pelos barramentos que poderão ser agrupadas na seguinte forma:

Tabela 4.1 - Barramentos que alimentam as cargas alvo de intervenção

Barramento	Setor	Consumo de EE	
		[%]	[€]
Messe Alunos	A - Messe	19.92	43 047.40
C_Passeio_QC4			
Comando_QC12_CTT_CGD	B - Edifícios Administrativos e de Serviços	19.82	42 830.30
EMMET_Apoio_Aqui_Emb			
QE19_QE20_Messe_Oficiais			
Enf_Camaratas_PA			
Cal_Antigo			
Furo_Agua	C - Furo de Água	5.95	12 851.99
Bairro de Oficiais	D - Bairro de Oficiais e Sargentos (Edifícios Residenciais)	11.83	25 563.29
Cam_Alunos_Etar			
Aloj_Clube_Sargentos			
P_L2_H6	E - Departamento Escolar (Salas de Aula)	15.32	33 120.54
QGBT_L7_BUDA			
Q_Geral_H4			
Q_Geral_H3			
Lavandaria_Caldeiraria	F - Lavandaria e Caldeiraria	1.73	3 745.30
Iluminação Exterior (Toda a iluminação artificial engloba-se neste setor)	G - Iluminação	8.62	18 626.57

A figura 4.13 representa de uma forma gráfica os setores que serão alvo de intervenção.

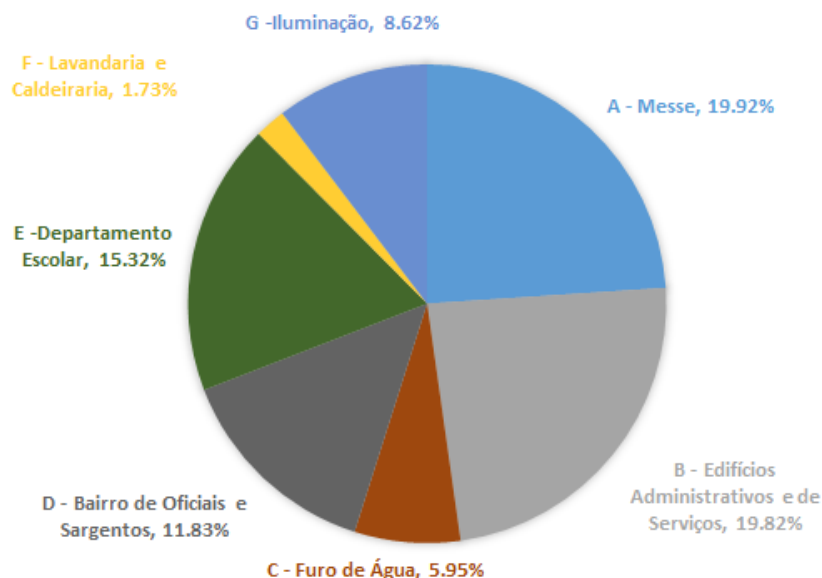


Figura 4.13 - Distribuição dos setores que serão alvo de intervenção

4.5 Energia Reativa

Certos equipamentos, como é o caso de transformadores, balastros de lâmpadas fluorescentes, fontes de alimentação de equipamentos eletrônicos, máquinas motrizes, etc, necessitam de campos magnéticos para o seu funcionamento. Para o correto funcionamento destas cargas é necessário fornecer E_Q , sendo esta a responsável pela criação do fluxo magnético.

Esta resulta da variação da energia magnética e elétrica armazenada nos elementos indutivos e capacitivos, respetivamente, da impedância de carga [29]. Apesar da E_Q não se transformar em trabalho físico, esta representa uma parcela na energia que é transmitida ao longo das linhas de distribuição. Assim, existe um consumo de energia que não é aproveitada diretamente pelas cargas.

Convencionalmente, nos sistemas de energia elétrica define-se que uma carga indutiva absorve Q , enquanto que uma carga capacitiva gera Q .

Esta transferência de energia entre a geração e as cargas tem várias implicações no setor elétrico, nomeadamente perdas nos condutores, quedas de tensão, subutilização da capacidade instalada e redução da vida útil dos equipamentos, resultando num consumo suplementar de energia que não é aproveitado pelo consumidor [47].

Através do Despacho n.º 7253/2010, de 26 de abril [48], a ERSE introduziu novas regras de faturação de E_Q , alterando significativamente a fatura energética. Assim em 2011, foram introduzidas alterações que visam a fixação de um valor mais exigente para o limiar de faturação de E_Q no período fora de vazio, na introdução de três escalões de preço em função da $\tan \varphi$ (explicada na secção 4.5.1) (0.3; 0.4 e 0.5), e na fixação do período de integração diário para determinação das quantidades de E_Q a faturar para instalações em Muito Alta Tensão (MAT), Alta Tensão (AT) e MT.

De acordo com o tarifário estabelecido pela ERSE para 2015, verifica-se que a energia reativa indutiva e capacitiva têm um preço de 0.0263 €/kvarh e 0.0197 €/kvarh, respetivamente, o qual é aplicado um fator multiplicativo dependendo do escalão de faturação.

Como esta energia implica um custo que não produz trabalho, a sua compensação deverá ser estudada numa vertente que leve à sua diminuição ou eliminação na rede elétrica.

4.5.1 Fator de Potência

De maneira a se perceber o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos, é calculado o $\cos \varphi$, que traduz a relação entre a energia transmitida para a carga sob a energia máxima transmitida pelas linhas de transmissão de forma a que as perdas nas mesmas sejam mantidas [49]. O cosseno do ângulo que resulta da defasagem entre a forma de onda da intensidade de corrente com a tensão, traduz a fração de EE que é convertida em trabalho útil. Assim valores próximos de um (1) indicam um uso eficiente da EE, enquanto que valores baixos representam o seu mau aproveitamento.

De maneira a calcular a E_Q a faturar, utiliza-se o fator $\tan \varphi$, definindo-se como o quociente entre Q e P durante o mesmo período de tempo, de acordo com a equação 17:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (17)$$

Assim, quanto maior for a $\tan \varphi$, menor será o fator de potência, resultando num maior trânsito de E_Q nas redes. A compensação do fator de potência consiste em produzir localmente a E_Q necessária para o regular funcionamento da instalação, mantendo o fator de potência em valores aceitáveis em torno dos 0.94 e 0.96 [50]. Assim, a E_Q necessária deixa de ser fornecida pelo distribuidor de EE, passando a ser fornecida por intermédio de bancos de baterias de condensadores. A razão de se usarem condensadores deve-se ao facto de imporem uma corrente capacitiva, compensando desta forma a componente indutiva necessária às cargas.

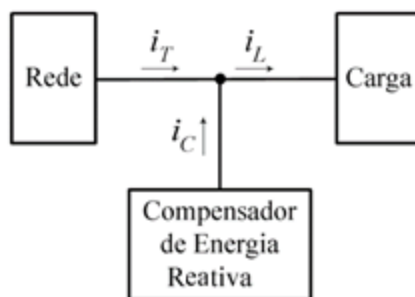


Figura 4.14 - Esquema de compensação de Energia Reativa [51]

O sistema de compensação deverá estar calibrado de forma a adaptar-se às variações da carga, evitando a produção de E_Q em excesso, uma vez que a entidade reguladora aplica critérios de faturação para o excedente indutivo.

O investimento na compensação do fator de potência tem como retorno uma diminuição do custo de EE, uma melhoria dos níveis de tensão, aumento da eficiência energética da instalação e da capacidade de manobra dos equipamentos, da potência disponível no secundário do transformador e ainda uma redução de perdas por efeito de Joule, vindo de encontro ao estabelecido no PNAC 2006.

Em termos gráficos, a figura 4.15 resume o processo de compensação, podendo este ser traduzido através das expressões matemáticas constantes em (18).

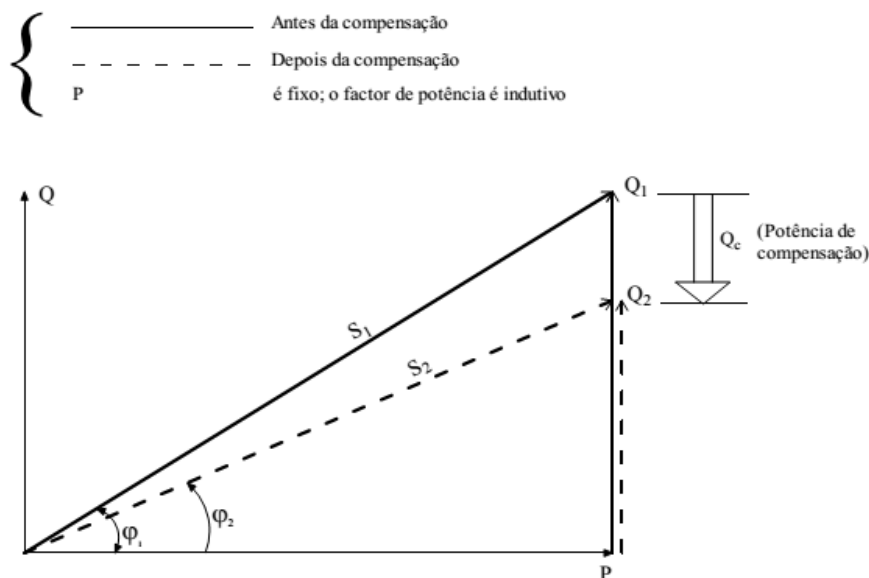


Figura 4.15 - Compensação do fator de potência

$$Q_1 = P \operatorname{tg} \varphi_1$$

$$Q_2 = P \operatorname{tg} \varphi_2$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (18)$$

No CFMTFA a compensação é realizada de forma global em cada PT, ie, cada bateria de condensadores é ligada à cabeça da instalação, assegurando desta forma a compensação do conjunto de cargas. As baterias de condensadores estão estruturadas de forma escalonar, entrando em funcionamento apenas os módulos de condensadores necessários para a compensação, por forma a garantir um fator de potência mínimo de 0.98. Assim controla-se com maior precisão a energia reativa capacitiva necessária para compensar o excesso de E_Q na instalação.

Este modo de compensação torna-se vantajoso na medida em que a bateria estará em funcionamento de forma quase contínua durante o funcionamento normal da instalação, o que garante uma boa rentabilidade do investimento feito. Além disso, é recomendável que a compensação seja feita desta forma quando estamos em casos onde a carga é estável e não sofre grandes alterações ao longo do tempo, situação típica em instalações com recetores de baixa ou média potência que não trabalhem em simultâneo. Quando o objetivo principal é a supressão do pagamento de penalidades impostas pela entidade reguladora esta solução assume-se como a mais adequada.

Os bancos de baterias de condensadores instalados em cada PT são:

Tabela 4.2 - Banco de Baterias de Condensadores no CFMTFA

PT	Unidades	Capacidade [μ F]	Potência [kvar]
PT1	6	3x132.6	120
PT2	8	3x33.2	40
PT3	21	3x33.2	105

Deve-se salientar que estes valores são os fornecidos pelos fabricantes e consideram-se válidos à data da sua instalação. Na prática, devido às sucessivas cargas e descargas dos condensadores estes poderão apresentar valores inferiores aos especificados, principalmente os módulos do 1º escalão de funcionamento, sendo o número de solicitações superior para estes módulos.

Numa perspetiva económica, o encargo com a E_Q referente aos dois últimos anos ilustra-se na figura 4.16.

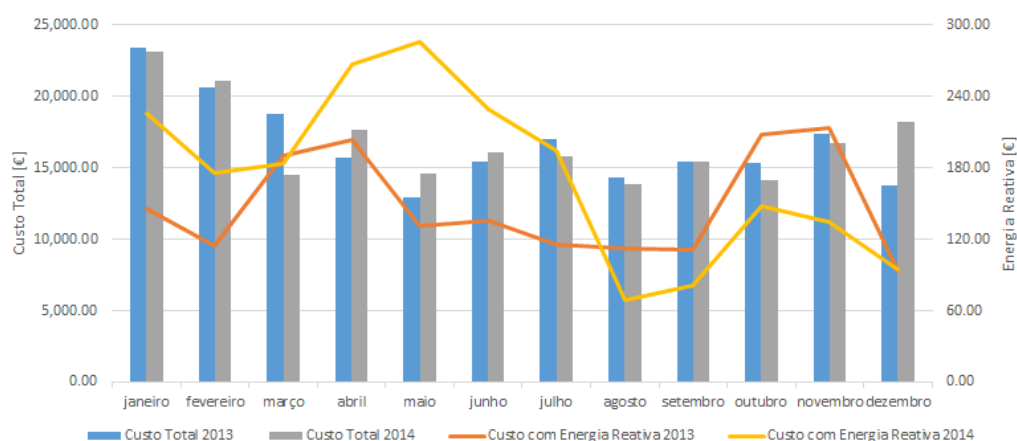


Figura 4.16 - Encargo com EE no CFMTFA em 2013 e 2014 (CLAFAD/I)

Verifica-se que a despesa com a E_Q representou cerca de 1% da despesa com a EE no biénio de 2013/2014. Face aos dados obtidos é possível concluir que a compensação do fator de potência está bem dimensionada, uma vez que o encargo com a E_Q apresenta um valor muito reduzido. De momento, uma das três baterias de condensadores encontra-se com um funcionamento anómalo, sendo esta a principal responsável pelos encargos com a E_Q . Contudo, a sua intervenção e consequente reparação já se encontra prevista.

Esta figura pode ser comparada com a figura 4.5 a qual representa o consumo de EE no CFMTFA para os mesmos anos. Verifica-se que relativamente aos encargos de E_Q , esta apresenta o mesmo comportamento que os consumos. Porém, a mesma situação não se verifica quanto à E_p . Nos meses de janeiro, agosto, setembro e novembro de 2013 verificou-se um encargo superior em relação ao ano de 2014, mas o consumo nos respetivos meses de 2013, foi inferior ao consumo do ano de 2014. Esta comparação vem reforçar a ideia de que a análise do consumo e do encargo deve ser feita separadamente, pois pode não existir uma relação direta.

4.5.2 Análise Real

De maneira a realçar a importância da compensação do fator de potência, ir-se-á proceder ao cálculo teórico do encargo com E_Q caso esta não fosse compensada, bem como a potência capacitiva a instalar em cada um dos PT por forma a compensar da melhor maneira possível o fator de potência. Comparando com a potência instalada retiram-se ilações sobre a compensação existente.

A análise incidirá sobre a primeira semana de janeiro de 2015 (05 a 11 de janeiro), pelo facto de ter sido a semana de maior consumo e injeção de corrente capacitiva.

Idealmente, a E_Q fornecida pelos condensadores deveria ser igual à consumida pelos equipamentos ligados, ie, um fator de potência igual a 1. No entanto, como descrito anteriormente, a compensação está regulada para um fator de potência igual a 0.98, visto tratar-se de um valor em que não resultam encargos acrescidos para o consumidor.

De acordo com o artigo 28º do Regulamento Tarifário do Setor Elétrico [52], o mês de janeiro engloba-se no período trimestral I estando os períodos horários de entrega de EE descritos na tabela 4.3, estando inserido no período de hora legal de Inverno.

Tabela 4.3 - Período Horário de entrega de EE [53]

Períodos Horários	Horas		
	Dias Úteis	sábado	domingo
Ponta	09h30/12h00 18h30/21h00	-	-
Cheias	07h00/09h30 12h00/18h30 21h00/24h00	09h30/13h00 18h30/22h00	-
Vazio Normal	00h00/02h00 06h00/07h00	00h00/02h00 06h00/09h30 13h00/18h30 22h00/24h00	00h00/02h00 06h00/24h00
Super Vazio	02h00/06h00	02h00/06h00	02h00/06h00

Assim, o período no qual existe faturação de E_Q está compreendido entre as 07h00 e as 24h00 nos dias úteis e entre as 09h30 e 13h00 e 18h30 e 22h00 nos sábados, períodos a que corresponde as horas fora de vazio. No domingo não existe faturação de E_Q . Não obstante, existem também 3 escalões de faturação que impõem um fator multiplicativo consoante fator $\text{tg } \varphi$, descrito na tabela seguinte.

Tabela 4.4 - Escalões de faturação

Escalão	Descrição	Fator Multiplicativo
Escalão 1	$0.30 \leq \text{tg } \varphi < 0.40$	0.33
Escalão 2	$0.40 \leq \text{tg } \varphi < 0.50$	1.00
Escalão 3	$\text{tg } \varphi \geq 0.50$	3.00

Para determinar a quantidade de E_Q a faturar e aplicar o fator multiplicativo no período de integração diário, o preço é calculado segundo a equação 19:

$$\text{Preço} = E_Q * P_{E_{ind}} * F_{\text{Multiplicativo}} \text{ [€]} \quad (19)$$

Onde: E_Q - Energia Reativa [kvarh];

$P_{E_{ind}}$ - Preço da Energia Indutiva [€/kvarh] ($P_{E_{ind}}=0.0263$ €/kvarh), para o ano de 2015.

No anexo D encontra-se a faturação individual de cada dia para cada PT.

O encargo com E_Q nesta semana seria de 356.10€, caso não existisse compensação do fator de potência, cerca de 631% do que foi pago ao fornecedor. Com estes resultados, é notoriamente claro que a compensação do fator de potência torna-se uma necessidade em qualquer instalação, de forma a evitar custos desnecessários. Como o funcionamento das cargas da Unidade apresenta um comportamento cíclico, é possível de assumir que este consumo de E_Q será bastante semelhante nas semanas seguintes. Assim, o encargo que o CFMTFA teria caso não existisse a compensação do fator de potência seria em torno dos 1070€ por mês.

Esta análise financeira permite concluir também sobre o tipo de equipamento que se encontra instalado em cada barramento. No PT1, os barramentos de alimentação de iluminação externa são os responsáveis pela faturação de E_Q devido ao equipamento indutivo instalado, nomeadamente as lâmpadas de vapor de sódio, bem os condutores que as alimentam. No PT3, o equipamento associado à captação e distribuição de água potável e os equipamentos de refrigeração, nomeadamente máquinas assíncronas, aumentam o consumo de E_Q da instalação devido ao seu carácter indutivo.

Para o dimensionamento dos condensadores a análise é feita num período de integração de uma hora. Se o período de análise fosse diário, não haveria grande rigor no dimensionamento, devido às variações de consumo ao longo do dia. Como descrito na secção anterior, a compensação está ajustada para um fator de potência igual a 0.98, o que corresponde $\text{tg } \varphi=0.20$. Este valor oferece margem de segurança de forma a evitar faturação. Apesar da compensação estar ajustada para um fator de potência de 0.98, o equipamento em causa será dimensionado para um fator de potência igual a 1.

No dia 8 registou-se a maior injeção de corrente capacitiva na instalação. Desta forma, é analisado este dia em particular para o dimensionamento das baterias de compensação. Assim, somam-se para cada hora E_Q e E_P , calculando-se uma nova $\text{tg } \varphi$. Através da equação 18 calcula-se a potência do banco de baterias de condensadores a instalar, sendo selecionado o maior valor. A seleção do maior valor possibilita cobrir o maior consumo de E_Q , o que aliado à forma escalonar do banco permite ajustar da melhor forma o número de condensadores a ligar em cada momento, conforme se pode verificar na tabela 4.5.

O consumo de E_Q neste dia em particular poderia ser compensado pela possível escolha dos seguintes condensadores:

Tabela 4.5 - Banco de Baterias de Condensadores para compensação

	Compensação [kvar]	Baterias [kvar]	Referência Comercial	Escalões	Preço do equipamento [€]	Fabricante
PT1	31.0	30	VLVAEW0L030A40AA	5+10+15	1700	Schneider Electric
PT2	57.4	60	VLVAEW1L060A40AA	10+20+30	2280	
PT3	89.3	90	VLVAEW1L090A40AA	15+15+30+30	2500	

Desta forma, com base nos preços do fabricante à data, o investimento inicial de 6480€ teria um período de retorno em torno dos 6 meses.

A diferença da potência das baterias de condensadores atualmente instaladas para a sugerida deve-se ao facto de o dimensionamento dos sistemas em causa ter sido feito de maneira diferente. O cálculo apresentado resulta da análise do consumo medido, enquanto que o equipamento instalado foi dimensionado simplesmente com base na reatância síncrona do transformador de cada PT. No entanto, para uma possível remodelação dos bancos de condensadores deverão ser considerados os registos da instalação, por forma a evitar sobredimensionamentos.

4.6 Climatização

Os sistemas de climatização permitem o tratamento de ar ou alterar, de forma isolada ou conjunta, as condições do ar de um meio ambiente, nomeadamente a temperatura, humidade, a qualidade e a velocidade do ar numa divisão de um edifício.

A climatização engloba as funções de aquecimento arrefecimento, humidificação, desumidificação, filtragem e ventilação. A conjugação destas funções permite a criação de um espaço de trabalho mais confortável, na medida que se melhora o conforto térmico e a qualidade do ar interior dos edifícios. Estes sistemas representam uma parcela significativa no consumo energético dos edifícios, revestindo-se de interesse o seu estudo.

4.6.1 Aquecimento

Em regra, o aquecimento dos edifícios é realizado localmente através de um sistema de aquecimento que inclui uma caldeira geradora de água quente. Este, através das condutas de distribuição chega aos permutadores de calor colocados nas divisões dos variados edifícios.

De frisar que o gerador de vapor da messe, produz uma fração de vapor que é utilizada para confeção de alimentos, sendo outra direccionada para uma subestação, que condensa o vapor de água em água quente, a qual entra no sistema de aquecimento dos alojamentos QB03/04/05. Para os edifícios QE19/20 e QA23/24 existe uma caldeira local que apenas gera água quente.

4.6.2 Ventilação

A ventilação dos edifícios é feita a partir de doze (12) UTA, das quais oito estão nos alojamentos de alunos, duas nos alojamentos dos sargentos, uma na messe geral e uma na escola de línguas.

Em relação à climatização, existem salas que justificam o arrefecimento e aquecimento adequado do espaço devido à sua utilização e ocupação. Em toda a Unidade existem instalados cento e cinquenta e dois (152) aparelhos de AC, sendo que grande parte deles se encontram nos hangares e no edifício do Comando. No entanto, o sistema de AC no QC13 (Edifício de Comando) será brevemente remodelado, sendo substituídas as unidades individuais por um sistema central de AC centralizado.

4.6.3 Sistema Solar Termodinâmico

Um SST concilia duas tecnologias: a bomba de calor e o coletor solar térmico. A bomba de calor é um equipamento que transfere energia térmica na direção oposta ao fluxo espontâneo de calor, ie, transfere calor de um meio frio para um meio quente. Através de trabalho, é retirado calor de um ambiente quente transformando-o em energia, podendo esta ser utilizada para aquecimento ambiente de edifícios ou produção de AQS. No entanto, a bomba de calor pode ser utilizada para o modo de aquecimento ou de arrefecimento.

O funcionamento da bomba de calor é dividido nas seguintes fases:

- O calor ao entrar na bomba provoca a evaporação do líquido refrigerante, produzindo o refrigerante gasoso - Absorção de Calor;
- O refrigerante passa num compressor de maneira a que atinja pressão e temperatura elevadas, potenciando assim o seu aquecimento - Transformação de Energia;
- Um permutador de calor no gás de trabalho possibilita o fornecimento de diversas utilizações a temperaturas elevadas - Aproveitamento;
- Após a transferência de calor, o refrigerante gasoso passa ao estado líquido, sendo pulverizado através de uma válvula de expansão que o faz arrefecer de forma mais eficaz.
- Depois de arrefecido, o líquido refrigerante está pronto a ser aquecido, começando novamente o ciclo termodinâmico.

No coletor solar, o funcionamento é bastante semelhante ao de uma bomba de calor. Um fluído refrigerante com uma temperatura de ebulição de aproximadamente -30°C , entra no painel solar ficando sujeito à ação do sol, da chuva, do vento, da temperatura do ar e dos restantes fatores climáticos. Este processo aquece o fluído, o qual transfere o calor para um permutador através de um compressor. Dentro do permutador ocorre a transferência de calor do fluído refrigerante para a água, aquecendo-a até aos 55°C . Este processo ocorre num circuito fechado de circulação forçada, ie, o fluído está sempre em constante circulação, arrefecendo e aquecendo consecutivamente.

A seleção deste tipo de equipamentos assenta essencialmente no Coeficiente de Desempenho (*Coefficient of Performance* - COP) que traduz o rácio entre a energia fornecida e a energia consumida. Estes equipamentos possuem um COP bastante elevado, na ordem dos 400%, pelo facto de consumirem uma pequena fração de EE para obter a totalidade de energia final. A restante parcela de energia é retirada a partir das fontes renováveis abundantes na Natureza, mostrando que o modo de funcionamento dos equipamentos é bastante eficiente e

sustentável. A otimização com os diferentes meios de difusão de calor e de produção de AQS permite um funcionamento versátil e otimizado para um alto rendimento ao longo do ano.

Este sistema reveste-se de importância pela complementaridade dos equipamentos: os coletores são uma ótima fonte de calor nos dias solarengos e de temperaturas elevadas, mas tornam-se completamente ineficazes nos períodos de ausência de sol. É nestes períodos que as bombas de calor entram em funcionamento, de forma a garantir as condições de conforto proporcionadas pelo sistema projetado.

No último trimestre do ano de 2014 foi instalado um SST em 3 edifícios (QC06, QC07 e QC12) onde a taxa de ocupação e as necessidades energéticas eram mais significativas. A opção foi tomada tendo em conta o fator económico, tendo-se assumido que o retorno do investimento seria mais vantajoso, ie, o encargo com EE seria menos significativo face ao encargo com o GPL, sendo este o combustível anteriormente utilizado nos sistemas de caldeiras instalados, que geravam e distribuíam energia em forma de vapor de água e água quente. Optou-se pela substituição deste tipo de sistema pelo supra referido, o qual apresenta um COP significativamente superior.

A gestão do sistema em causa está acessível através de uma plataforma na Intranet, onde é possível aceder a todo o ciclo termodinâmico possibilitando o seu comando e controlo.

[Página intencionalmente em branco]

5. Eficiência Energética

*”Quero que a energia que sustenta a nossa economia
seja resiliente, de confiança, segura e cada
vez mais renovável e sustentável.»*

Jean-Claude Juncker (2015)

Neste capítulo são apresentadas medidas de eficiência energética que visem diminuir o consumo energético e consequentemente o investimento e os encargos a ele associado. No entanto, apesar da principal razão de atuação ser a diminuição dos encargos com a energia, não se descaram os padrões de conforto e bem-estar proporcionado pelo consumo energético. É também feita a análise económica da instalação recente do SST no CFMTFA.

Pode-se então definir eficiência energética como a capacidade de melhorar ou manter as condições de conforto com o mesmo ou menor consumo energético, respetivamente.

5.1 Casos de Sucesso

Edifício Solar XXI

Em janeiro de 2006 inaugurou-se no Paço do Lumiar em Lisboa o primeiro edifício de balanço de consumo zero (*Net Zero-Energy Buildings* - NZEB) português. O edifício solar XXI [54] apresenta-se como um edifício com funções de serviços (salas e gabinetes de trabalho) e laboratórios com uma área total de 1500 m², onde quase todas as necessidades energéticas do edifício são produzidas localmente. A distribuição espacial interior das salas interiores encontra-se direccionada com a orientação solar, estando as salas de ocupação permanente localizadas a Sul por forma a tirar partido da insolação direta e assim promover ganhos de calor no inverno. As zonas a Norte são ocupadas por espaços laboratoriais e salas para grupos de trabalho com uma taxa de ocupação inferior.

A conceção do edifício assentou em várias estratégias que no seu todo permitem determinar o comportamento térmico final. Com a otimização da qualidade térmica da envolvente através de paredes simples de alvenaria de tijolo e isoladas pelo exterior com poliestireno expandido, é possível diminuir as perdas térmicas do edifício no período de inverno. No verão apresenta-se como uma barreira às ondas de calor exterior.

Adicionalmente ao isolamento exterior, o edifício destaca-se pelo sistema solar fotovoltaico, pensado de maneira a aproveitar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos para aquecimentos do ar ambiente e dos gabinetes contíguos, pelo sistema de arrefecimento pelo solo complementado por um esquema de ventilação natural, pelos vãos envidraçados constituídos por vidro duplo incolor, equipados com estores exteriores que podem ser reguláveis e orientados por forma a adequar a entrada de radiação solar e de luz para o espaço de trabalho.

Até 2009 foram consumidos em média, por dia, 78 kWh, dos quais 54 kWh foram produzidos pelo sistema solar fotovoltaico colocado na fachada sul e no parque de estacionamento [55]. A produção fotovoltaica representou cerca de 70% da EE total consumida no edifício.

Rafain Palace Hotel

Situado na Foz de Iguaçu do estado brasileiro do Paraná, o Rafain Palace Hotel de 63 000 m² de área útil tornou-se parte integrante de um projeto piloto com o objetivo de melhorar a eficiência energética do segmento hoteleiro. As medidas compreenderam as áreas de iluminação e de climatização as quais, aliadas a medidas administrativas, proporcionaram uma economia de EE superior ao esperado inicialmente [56].

Relativamente à iluminação, a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, conjugado com a redução para metade das luminárias no salão de eventos, bem como o ajuste para níveis de iluminação para 200 lux, levou a uma redução do consumo de EE de 6080 kWh/mês. A nível de refrigeração, medidas como limpeza dos filtros e regulação dos termóstatos, desobstrução da saída do evaporador do sistema de AC central, entre outras, proporcionaram economias acima dos 7000 kWh/mês.

5.2 Estudo de caso

As figuras 4.1 e 4.2 permitem a identificação dos setores onde se consome mais EE no setor residencial. Aliado a esta estimativa e com a caracterização decrescente dos setores constante na figura 4.12 foi selecionado um conjunto de soluções com o propósito de reduzir o consumo de energia e encargo inerente. As medidas sugeridas estarão divididas nas 3 categorias introduzidas no capítulo 2, sendo apresentadas medidas generalistas e particularizando setores.

As medidas a seguir apresentadas englobam áreas de atuação como a iluminação, AVAC e equipamentos de escritório e secretária - computadores, impressoras, fotocopiadoras e faxes.

5.2.1 Medidas de Gestão

Gestor de Energia

A criação de uma entidade especializada em gestão de energia, dotada de formação e conhecimentos no domínio da tecnologia que, em sinergia com as Esquadras de Manutenção de Base (EMB), possa intervir nos setores de elevado consumo em cada U/O/S.

Ao Gestor de Energia, deve ser fornecida toda a informação relativa ao consumo das mais variadas formas de energia por forma a que sejam estudadas medidas de atuação, ie, caracterização de todos os equipamentos, localização, quantidade, tempo de funcionamento, etc.

Sensibilização

O fator Homem é essencial na gestão e consumo de energia. O princípio de atuação, a forma como se utilizam os recursos e equipamentos disponíveis por parte do utilizador, obriga ao esclarecimento de todas as questões relacionadas com o uso de energia. A melhor liderança é pelo exemplo. Desta forma, as chefias deverão ser as primeiras a tomar iniciativa na racionalização dos consumos, de maneira a que os subordinados tomem consciência de que são parte integrante da solução. A correta formação e divulgação de informação fomenta o espírito de racionalização de consumos por parte de todos os envolvidos.

No entanto, o fruto dos esforços deve ser divulgado. A divulgação das economias a nível monetário, da taxa de emissões de dióxido de carbono ou de água, alimenta o empenho na continuidade de realização de um bom trabalho.

Certificação energética dos edifícios

A qualidade energética dos edifícios deverá ser um fator de avaliação, constando o seu resultado no certificado energético que deverá estar afixado à sua entrada. Desta forma, todos os utilizadores ficam ao corrente da qualidade energética em que o seu local de trabalho foi avaliado. Na mesma forma, deverá existir um espaço onde sugestões relacionadas com eficiência energética possam ser dadas e analisadas pelo gestor de energia.

5.2.2 Medidas Ativas e de Autoconsumo

Para adotar este tipo de medidas, existe uma quantidade de variáveis que têm de ser contabilizadas, nomeadamente o local, a finalidade, a quantidade e a utilização. Aquando a realização da auditoria energética ao CFMTFA as variáveis que foram levantadas constam na tabela 5.1, sendo posteriormente analisadas por forma a conhecer-se com rigor o tipo de equipamento existente, bem como o seu propósito de utilização.

Tabela 5.1 – Levantamento de equipamentos

Equipamentos	Potência [kW]	Energia		Quantidade	Utilização [h]	Local
		EE	Gás			

Os equipamentos identificados encontram-se na tabela E.1 do anexo E. Adicionalmente a estes equipamentos, existe equipamento de secretária e escritório, nomeadamente computadores pessoais, impressoras, faxes e telefones, bem como iluminação, que devido à sua elevada quantidade não foi possível quantificar.

Para os setores identificados na figura 4.13 as medidas que se propõem subsistem essencialmente em:

- A. Messe de Alunos.
 - a. Substituição de equipamentos

Tabela 5.2 - Medidas a implementar na Messe de Alunos

Equipamento	Poupança	Custo	Período de Retorno
Forno Elétrico	8.2 kW [57] em vez de 31.5 kW. Cerca de 74%.	4148€ por equipamento	3.65 anos. Tarifa a 0.14€/kWh. Utilização 4h durante 261 dias.
Basculantes/Fritadeiras	6.3 kW [58] em vez de 16.5 kW. Cerca de 61%.	2091€ por equipamento	2.81 anos. Tarifa a 0.14€/kWh. Utilização 4h durante 261 dias

A seleção destes equipamentos assenta no princípio de utilização, uma vez que estes são os mais utilizados para a confeção das refeições. As soluções apresentadas foram obtidas após consulta de vários fornecedores e consequente análise dos equipamentos disponíveis no mercado. A escolha de outro tipo de equipamento poderá influenciar os resultados expressos na tabela. Este setor apresenta-se como o de maior consumo de EE da Unidade, representando 19.92% e um encargo de 43 047.40 €.

B. Edifícios Administrativos e de Serviços

Os edifícios do Comando, Esquadras e Oficinas deverão estar estruturados de forma central, quer a nível de equipamentos de escritório, quer a nível de climatização. Equipamentos como fotocopiadoras, impressoras e faxes deverão ser comuns a vários utilizadores, salvo casos excecionais.

A instalação de um SST constitui uma mais-valia energética para toda a Unidade, sendo plausível de ser aplicado a este tipo de edifícios. Como se poderá verificar na secção 5.2.5, a implementação de um sistema deste tipo permite alcançar economias significativas pelo que deverá constituir objeto de consideração a implementar noutros edifícios. Os edifícios administrativos e de serviços constituem o segundo maior setor de consumo de EE com 19.82% e um encargo de 42 830.30€. A implementação de um SST pode conduzir a economias de 85% para a produção de água quente [59].

C. Furo de Água

A captação, tratamento e distribuição de água potável na Unidade é o sexto setor de maior consumo de EE, representado 5.95% deste, estando-lhe associado um encargo de 12 851.99€. Este valor demonstra que apesar de não ser pago o serviço a um fornecedor externo, este tem um custo associado.

Os grupos eletrobomba entram em funcionamento sempre que os níveis dos depósitos de água se encontram abaixo do mínimo, independentemente do período horário. Se os grupos forem regulados e ajustados para entrarem em funcionamento nos períodos horários de entrega de EE vazio ou super vazio, onde o custo da energia é mais baixo, será possível uma economia imediata de EE, para além de que a E_q consumida por estes equipamentos não necessita de ser compensada. Um exemplo de atuação seria introduzir um novo nível de medição (Nível Alfa) baseado nas necessidades do utilizador. Durante o período de faturação de vazio, se o depósito estiver acima do nível Alfa não é necessário encher o depósito; caso contrário, bombeia-se água da cisterna para o depósito.

Os encargos de implementação desta medida resumem-se aos sensores para introdução do novo nível. Contudo a economia de encargos poderá ascender até aos 33% neste setor.

D. Bairro de Oficiais e de Sargentos

Uma vez que o encargo referente ao consumo de EE neste setor não é suportado pela Unidade, não foram alvo da auditoria energética. Contudo, este é o quarto setor de maior consumo de EE, representando 11.83% deste. No entanto poderão ser aplicadas soluções de eficiência energética vocacionadas para o setor doméstico. A instalação de painéis solares térmicos para produção de AQS permite uma redução de 70% [60] da energia usada para este fim, bem como a substituição da iluminação por outra mais eficiente, pode apresentar economias de até 20% [6].

E. Departamento Escolar

Os edifícios onde se encontra o Departamento Escolar foram alterados por forma a se transformarem num estabelecimento de ensino, atividade diferente daquela para qual foram inicialmente construídos. O encargo com este setor ronda os 33 120€ por ano. Ao longo da auditoria foram notados alguns aspetos de ineficiência energética nos edifícios nomeadamente ao nível da climatização. As soluções propostas subsistem em:

- Remodelação do atual sistema de AC por forma a que o calor extraído das salas de aula possa ser expulso para o ambiente exterior, por forma a aumentar o diferencial de temperatura entre os dois locais, evitando o consumo acrescido de EE;
- Instalação de um sistema central de AC a partir de bombas de calor, desativando as unidades individuais. Permite economizar até 40% da energia necessária para o aquecimento [61].
- Construção de um espaço novo com condições adequadas ao ensino.

F. Lavandaria e Caldeiraria

a. Substituição de Equipamentos

Atualmente, as máquinas de secar roupa mais eficientes são as que incluem bombas de calor. Estas são máquinas de secar roupa de condensação, só que equipadas com a tecnologia de bomba de calor. Desta forma, a energia gerada pelo calor não é descarregada no ambiente, uma vez que é reutilizada no processo de secagem. Outra alternativa poderá passar por instalar máquinas de secar equipadas com sensor de humidade. Esta função inteligente permite interromper o processo de secagem num ponto especificado pelo utilizador. Ambas as opções se apresentam como alternativas viáveis às máquinas de secar com temporizador atualmente existentes. As máquinas de lavar roupa devido ao elevado número de utilizadores deverão ter capacidade para mais de 8 kg, com a possibilidade de controlar o nível de água do tambor por forma a ajustar as necessidades de cada lavagem.

G. Iluminação

Esta medida é transversal a todos os setores de análise, uma vez que o recurso à iluminação artificial é comum a todos os edifícios analisados. Este setor representa um consumo de 8.62%, onde se inclui a iluminação interior (5%) e exterior (3.62%), representando um encargo de 18 626.57€ para a Unidade. As luminárias instaladas, salvo algumas exceções, são do tipo TL-D de 18W, 36W e 58W. A escolha da potência a instalar, bem como o quantitativo depende do número de postos de trabalho e da utilização do espaço.

As medidas propostas são:

Tabela 5.3 - Medidas na Iluminação

Medida	Descrição	Poupança	Custo	Período de Retorno
Substituição de toda a iluminação artificial por	Substituição de lâmpadas TL-D de 18W, 36W e 58W por MASTER TL-D	Até 30% [62]	11.84€ por equipamento [63]	2.7 anos

lâmpadas mais eficientes.	Power Saver Set 12, 23 e 37			
Substituição da Iluminação Exterior	Substituição das lâmpadas de vapor de sódio de 70W por lâmpadas LED SP90	38W em vez de 70W. Cerca de 45%	69€ por equipamento	4.28 anos

O cálculo do investimento associado à iluminação interior encontra-se na tabela F.1 e F.2 do anexo F. Em relação à iluminação exterior, os cálculos do investimento inicial encontram-se na tabela F.3 e F.4.

As lâmpadas LED SP90 são indicadas para a iluminação das vias públicas, uma vez que a distribuição luminosa é semelhante às lâmpadas utilizadas atualmente [64]. Este tipo de lâmpadas possui uma vida útil superior a 13 anos, baixos desperdícios energéticos e baixa manutenção, acabando por ter um melhor desempenho que as tradicionais lâmpadas de vapor de sódio. A luminária deverá ser compatível com o casquilho E40 da lâmpada existente.

5.2.3 Medidas passivas

Medidas passivas têm como foco os aspetos construtivos e técnicos dos edifícios. A maioria deles remonta aos anos 40 do século passado, verificando-se que a escolha dos materiais de construção não foi efetuada com base no comportamento térmico e na eficiência energética dos edifícios, bem como à orientação destes em relação à exposição solar.

Neste contexto, e de forma a melhorar significativamente o desempenho energético dos edifícios, destacam-se as seguintes soluções:

1. Instalação de vãos envidraçados duplos. A substituição por caixilharia nova pode ter períodos de retorno de investimento até aos 22 anos, o que é considerado excessivo. A instalação de uma segunda caixilharia pelo interior com custo estimado unitário de 125€/m² apresenta períodos de retorno em torno dos 10 anos [24];
2. Instalação de proteção solar exterior nos vãos envidraçados. Com períodos de retorno de cerca de 7 anos [24], este sistema permite equilibrar a intensidade luminosa, bloquear os raios ultravioleta e controlar os ganhos térmicos diretos. Em complemento, a instalação de películas solares no equipamento existente permite a reflexão de até 67% da energia solar [65];
3. Aplicação de isolamento térmico pelo exterior. Cerca de 60% das perdas de energia no inverno estão associadas à envolvente em contacto com o exterior. Assim o uso de isolamento térmico em poliestireno expandido moldado (EPS) permite reduzir o valor do coeficiente de transmissão térmica variando os períodos de retorno entre os 2 e 7 anos [24];
4. Substituição dos permutadores de calor por piso radiante. Em vez dos comuns radiadores, o solo converte-se num emissor de calor. Para estas aplicações a temperatura de funcionamento é inferior face ao sistema de aquecimento atual;
5. Substituição de placas opacas por translúcidas. Sempre que possível deve-se favorecer a iluminação natural.

Exemplo: Junto aos gabinetes do núcleo de material aéreo, o favorecimento da iluminação natural através da substituição das chapas do hangar 4 permite aumentar o nível de conforto e bem-estar no local de trabalho, reduzindo o recurso à iluminação artificial.

Focando soluções que incluam equipamentos apresentam-se as seguintes opções:

6. *IsGreen® light* - É um sistema que combina sinais recebidos por vários sensores. Os sinais são recebidos por um microprocessador que processa o tempo que as lâmpadas deverão estar acesas com base nas várias informações recebidas pelos sensores e pelos contadores de pessoas.

Exemplo: Se um contador deteta a entrada de uma pessoa num espaço, o processador dá a ordem de acender a lâmpada até que a pessoa saia do local. Caso exista um erro de contagem por parte do contador, ie, entram duas pessoas (A e B) e apenas uma é contada e esta (A) sai do espaço, onde permanece outra pessoa (B), o sensor de presença envia o sinal para que a lâmpada se mantenha acesa.

A poupança pode variar desde os 20% a 70% na iluminação associada aos espaços onde o sistema é instalado [66]. Espaços comum como escadas, zonas de passagem ou em halls de entrada são locais com forte potencial de poupança;

7. Regular limpeza das luminárias. Uma luminária com superfície refletora limpa pode aumentar em 25% a iluminação proporcionada [21]. Como tal, manter as luminárias limpas tem um custo nulo e melhora a capacidade de reflexão da luz;
8. Regulador de fluxo luminoso. O ajuste da luminosidade às necessidades, em função da iluminação natural ou do pretendido pelo utilizador, pode proporcionar poupanças de até 40% [67];
9. Regulação de *set-points* nos sistemas de aquecimento para valores entre os 19°C e os 21°C e para os sistemas de arrefecimento cerca dos 25°C, valor suficiente para criar as condições favoráveis para um bom local de trabalho. A esta medida não está associado nenhum custo sendo a poupança imediata, uma vez que por cada grau de temperatura aumentado/diminuído, implica um acréscimo de consumo entre os 4% e 7% [22] [68];
10. Regulação da temperatura do frigorífico ou congelador para a especificada pelo fabricante, uma vez que por cada grau de frio o consumo de energia aumenta 5% [61]. Estes equipamentos deverão estar instalados o mais longe possível de fontes de calor, certificando-se que a parte de trás se encontra bem limpa e ventilada. A camada de gelo que naturalmente se forma nas paredes deverá ser removida quando esta atingir 3 mm de espessura, o que permite poupar até 30% de energia [68];
11. Utilização de tomadas múltiplas com interruptor. A ligação de vários equipamentos informáticos à mesma tomada permite que no fim da utilização, estes possam ser desligados e assim serem evitados consumos *stand-by* desnecessários associados aos transformadores;
12. Limpeza regular dos filtros dos equipamentos. A correta manutenção dos equipamentos de frio e calor evita o consumo excessivo de energia o que prolonga a vida útil dos equipamentos.

Estas medidas devem ser implementadas em todos os edifícios onde estes sistemas existam. Na tabela 5.4 encontra-se a correspondência entre as medidas e os setores introduzidos no capítulo anterior. O recurso a esta forma de apresentação deve-se ao facto de haver medidas que podem ser aplicadas a mais do que um setor.

Tabela 5.4 - Medidas Passivas por Setor

Medidas Setor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A			X			X	X	X		X		X
B	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
C												
D							X	X		X	X	
E					X	X	X	X	X			X
F												X
G						X	X	X				

5.2.4 Medidas Comportamentais

A redução do consumo energético não se cinge apenas à utilização de equipamentos mais eficientes. As boas práticas de conduta e de utilização por parte do consumidor são um elemento chave em todo o processo de gestão de energia. Assim, sugere-se um conjunto de medidas que são intrínsecas ao utilizador:

1. Evitar manter as portas dos frigoríficos e das câmaras frigoríficas abertas mais do que o tempo necessário;
2. Utilizar as máquinas de lavar loiça, lavar e secar roupa à máxima carga e a temperaturas baixas. Cerca de 90% da energia consumida corresponde ao aquecimento da água [67]. Desta forma maximiza-se todo o processo termodinâmico. Mantendo sempre cheios os depósitos de abrillantador e sal da máquina de lavar loiça reduz o consumo de energia na lavagem e secagem, respetivamente;
3. Não abrir desnecessariamente o forno uma vez que se está a perder no mínimo 20% da energia acumulada no seu interior [25]. Para cozinhados com duração superior a 1 hora é desnecessário (por norma) o pré-aquecimento do forno. De forma a aproveitar o calor residual, deve-se apagar o forno uns instantes antes de cozinhar, uma vez que este é suficiente para acabar a confeção;
4. Para cozinhar ou simplesmente aquecer alimentos deverá priorizar-se o micro-ondas, fogão e por último o forno ou marmita. A utilização de panelas com fundos de grande difusão de calor economiza tempo e energia;
5. Os equipamentos com sistemas de poupança de energia (símbolo *Energy Star*®) devem ser privilegiados. Os monitores dos computadores deverão ser desligados caso se preveja ausências superiores a 5 minutos. O uso da proteção de ecrã totalmente negro é o de menor consumo, devendo entrar em funcionamento em períodos de inutilidade superiores a 2 minutos. (Estas opções podem ser automatizadas através de Microsoft Windows®: Iniciar – Painel de Controlo – Opções de energia.)
6. Encerramento automático do computador. Ao fim do horário laboral, o Centro de Informática emite um alerta de que o computador irá ser desligado, onde existe a opção do utilizador continuar a trabalhar; caso este seja ignorado, o computador encerra-se automaticamente.
7. Sempre que possível, utilizar os recursos naturais. Além de evitar o consumo de energia, cria um melhor ambiente de trabalho aumenta o nível de conforto. Aquando o recurso a sistemas de

iluminação artificial e de climatização, estes devem ser desligados sempre que não estiverem a ser utilizados.

De forma análoga às medidas passivas, as medidas comportamentais aplicam-se aos seguintes setores:

Tabela 5.5 - Medidas Comportamentais por Setor

Medidas Setor	1	2	3	4	5	6	7
A	X	X	X	X			X
B					X	X	X
C							
D	X	X	X	X	X		X
E					X	X	X
F		X					X
G							X

Em suma, o quantitativo de medidas para cada setor encontra-se na tabela 5.6:

Tabela 5.6 - Total de Medidas por Setor

Setor	Medidas Ativas e de Autoconsumo	Medidas Passivas	Medidas Comportamentais	Total
A	1	6	5	12
B	1	10	3	14
C	1	0	0	1
D	2	4	6	12
E	3	7	3	13
F	1	1	2	4
G	2	3	1	6

O consumo destes setores ronda os 1.28 GWh, o que representa um encargo de 179 785.4€ para a Unidade. Com a implementação do conjunto de medidas de gestão, ativas e de autoconsumo, passivas e comportamentais e, com base na bibliografia, prevê-se que os encargos associados a estes setores conduzam a uma redução de até 50%. No entanto, esta economia assenta nos valores fornecidos pelo fabricante, a qual está sujeita a vários fatores que influenciam o desempenho dos equipamentos. A quantificação do investimento inicial, apenas foi possível para algumas medidas, sendo avaliado em 40 362€.

Das medidas apresentadas, a maioria são passivas, das quais 6 não têm qualquer custo associado. Para a implementação das medidas comportamentais é necessário vencer a inércia e resiliência de todos os utilizadores, pois só desta forma é possível atingir o objetivo. Esta conjugação de medidas permite economias nestes setores de até 90 390€.

Numa visão geral, esta economia representa uma diminuição de 42% do consumo total do CFMTFA. Do atual encargo de 216 125.19€, é possível reduzir este valor para a fasquia dos 125 734€. Porém, e apesar de terem sido apresentadas medidas apenas para os setores que constituem 80% do consumo de EE, estas podem ser alargadas aos restantes barramentos que não foram alvo de análise. Como estes apresentam semelhanças a nível do consumo energético, podem também ser alvo de intervenção. Desta forma, esta redução dos encargos pode aumentar. O cálculo deste valor encontra-se no anexo G.

5.2.5 Análise económica Gás Petróleo Liquefeito vs Energia Elétrica

Nesta secção pretende-se analisar a viabilidade da implementação do SST. O objetivo principal da instalação deste sistema seria diminuir o encargo com a energia, na medida que se diminui o consumo de GPL aumentando o consumo de EE.

A evolução dos encargos referentes ao consumo de GPL e de EE registada entre 2008 e 2014, apresenta-se esquematizada na figura 5.1:

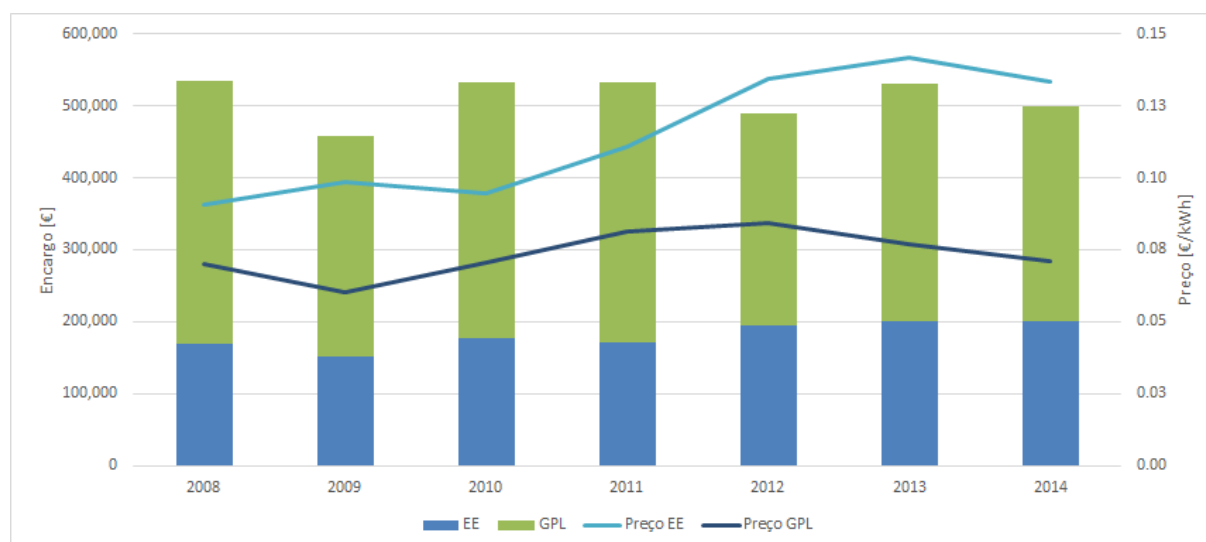


Figura 5.1 - Evolução dos encargos de GPL e EE (2008 a 2014) (CLAFAD/DI)

Como se pode constatar, o GPL revelou-se durante o período de análise o maior encargo com a energia na Unidade. Em 2014 representou cerca de 60% dos encargos sendo o preço de faturação igual a 0.07€/kWh. O encargo com a EE tem vindo a aumentar ao longo do período de análise, passando dos 32% em 2008 para 40% em 2014. Com a entrada em funcionamento do SST é expectável que o consumo de EE aumente, em detrimento da diminuição do consumo de GPL.

O preço de faturação de EE é sempre superior ao do GPL, sendo que a variação deste é bastante mais acentuada, ao invés do preço do GPL que tem sido praticamente constante. No entanto, apesar do preço de faturação do GPL ser mais baixo, tem de se ter em conta a eficiência do uso deste tipo de energia. O armazenamento e processo de transformação de GPL em energia útil, bem como a sua distribuição, são fatores que direta e indiretamente encarecem a instalação e o uso de GPL.

Como descrito no capítulo 4, o SST alimentado pelo PT1 começou a funcionar em 19 de fevereiro de 2015. Assim sendo é analisado um período de amostragem compreendido entre o mês de março e julho de 2015, inclusive. Na figura 5.2 comparam-se os encargos do período de amostragem no biénio de 2014/2015.

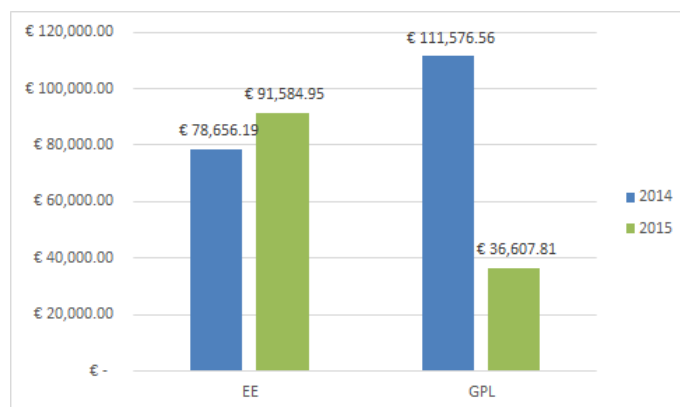


Figura 5.2 – Encargos com EE e GPL (março a julho) (CLAF/DI)

Como expectável, existe um aumento de 16% (12 928.76€) do encargo com a EE. No entanto, a diminuição de 67% (74 968.75€) do encargo com o GPL é notoriamente superior, o que representa uma economia de 62 039.99€. Apesar do período de amostragem não compreender os meses de baixas temperaturas, o SST poderá não ter funcionado à plena carga. No entanto, se a economia de encargos já é significativa neste período, é passível de concluir que nos meses mais rigorosos esta seja maior.

A economia de encargos não se deve única e exclusivamente à entrada de funcionamento do SST. O número de candidatos admitidos ao Curso de Formação de Oficiais do Regime de Contrato (CFO/RC), Curso de Formação de Sargentos dos Quadros Permanentes (CFS/QP) e Curso de Formação de Praças do Regime de Contrato (CFP/RC) para a incorporação de 2013 foi de 37, 78 e 337, respetivamente, o que perfaz um total de 452 admissões [69]. Para a incorporação 2014 foram admitidos 28 candidatos para o CFO/RC, 61 para o CFS/QP e 172 para o CFP/RC, totalizando 261 candidatos [18]. No biénio de 2014/2015 houve uma redução de 191 vagas para as incorporações, o que influencia diretamente os consumos de GPL, uma vez que para o aquecimento dos alojamentos dos formandos é consumido este combustível.

Com base nestes resultados, prevê-se que o investimento tenha um período de retorno em torno dos 5 anos.

Com esta análise, é possível de se afirmar que a substituição de equipamentos consumidores de GPL por equipamentos a EE pode tornar-se numa solução viável e económica, podendo apresentar períodos de retorno bastante reduzidos. Ao selecionar equipamentos de climatização há que ter em conta o seu COP, de maneira a que a escolha seja a mais correta possível.

[Página intencionalmente em branco]

6. Recomendações

“O mais importante é a mudança, o movimento, o dinamismo, a energia.

Só o que está morto não muda!”

Clarice Lispector (1920-1977)

Com o propósito de aumentar a eficiência energética no CFMTFA através de um melhor uso racional da energia, são apresentadas algumas sugestões de ações e estudos que fogem do âmbito académico, mas que contribuem em larga escala para o objetivo principal desta dissertação.

6.1 Repartição de Qualidade de Energia

A energia na FA é vital para a sua operacionalidade. Como tal, o tratamento da informação relativa à aquisição, distribuição e consumo deveria ser estudada de forma rigorosa, por forma a evitar desperdícios. A responsabilidade do tratamento de questões relacionadas com a gestão de energia a nível global da organização incide sobre uma única pessoa - Gestor de Energia. Tendo em conta as imposições a nível nacional e europeu, ao gestor de energia deveria ser dada uma maior importância e exclusividade do trabalho.

Apesar da criação orgânica da Repartição de Qualidade e Ambiente na Direção de Infraestruturas, esta não se encontra atualmente em desempenho de funções, devido à escassez de recursos (humanos) suficientes. A criação de uma repartição focada para a gestão de energia, permitiria em concordância com as U/O/S, estruturar e planear medidas que visem a melhoria de todo o consumo energético, permitindo dar um uso mais racional a toda a energia que é atualmente consumida na FA. Para tal, torna-se necessário disponibilizar recursos humanos e materiais, cuja competência técnica, visão global, autoridade e responsabilidade permitam desempenhar as tarefas em causa.

6.2 Sistemas de micro e miniprodução

A possibilidade de gerar EE a partir de fontes renováveis aumenta em grande escala a sustentabilidade de qualquer instalação. Tirando partido dos recursos endógenos renováveis tais como a energia solar, o vento e a água é possível gerar de forma limpa energia para as mais diversas necessidades.

Desta forma, recomenda-se que seja efetuado um estudo para esta Unidade em particular, de forma a perceber a viabilidade da instalação de equipamentos de geração renovável, nomeadamente a geração fotovoltaica e eólica. Para produção de AQS, o aproveitamento solar térmico constitui, como já implementado, uma solução bastante recomendável. O aproveitamento geotérmico pode tornar-se uma alternativa interessante para produção de AQS, e numa fase posterior, caso seja possível, geração elétrica.

De acordo com a atual legislação, é possível a venda do excedente de produção à rede nacional, permitindo rentabilizar o investimento feito sem ser pela economia dos encargos. De notar que a implementação dos sistemas de geração tornaria a Unidade autossustentável e independente em termos energéticos, o que se poderia tornar numa mais-valia em cenários bélicos, por exemplo.

6.2.1 Poste Híbrido

O conceito de um poste híbrido consiste na captação da energia solar e eólica para alimentação das luminárias instaladas em postes de iluminação. Este projeto já foi aplicado no Brasil, tendo sido implementado um coletor em forma de avião, o qual facilita a captação dos raios solares e do vento. As células fotovoltaicas são capazes de gerar até 400W, enquanto que as hélices podem gerar até 1kW de potência. Por intermédio de uma bateria, a energia produzida é armazenada para uso noturno. Esta solução apresenta-se como uma alternativa ao atual sistema de alimentação da iluminação exterior, permitindo a economia deste encargo [70].



Figura 6.1 - Poste Híbrido [70]

Este sistema aplicado num poste tem a capacidade de alimentar mais outros 2 postes equipados com 6 lâmpadas LED e, uma autonomia até 7 dias. Se implementado num sistema de raiz as economias para além da alimentação das luminárias estende-se à transmissão de energia, PT e cablagens.

6.2.2 *LucidPipe Power System*

O *LucidPipe Power System* é um sistema de aproveitamento hídrico, capaz de gerar EE a partir da energia potencial da água que circula nas condutas de abastecimento por gravidade. Desta forma, é possível gerar energia de forma limpa e eficiente de uma maneira quase ininterrupta.

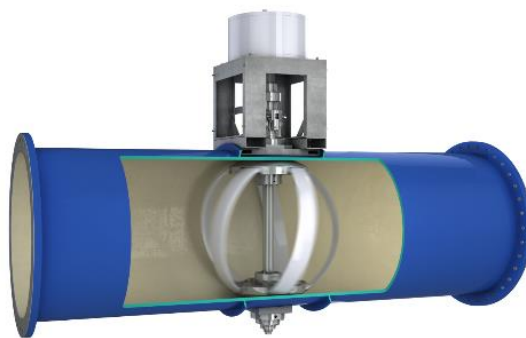


Figura 6.2 – *LucidPipe Power System* [71]

Este sistema é utilizado em condutas de abastecimento de grandes dimensões, sendo a energia produzida proporcional à velocidade e caudal de trabalho. Este sistema pode tornar-se numa solução complementar para suplementar o consumo de EE do atual sistema hídrico instalado.

6.3 Guia de Implementação

Em regra geral, a FA possui setores que são semelhantes em todas as suas Unidades. Apesar desta dissertação ter tido como estudo de caso o CFMTFA, este estudo poderá ser ampliado a um número maior de Unidades. Toda a análise realizada no CFMTFA, poderá ser transposta às restantes Unidades, uma vez que setores como messe, edifícios administrativos e de serviços, edifícios residenciais e iluminação são transversais a todas as Unidades da FA. Desta forma, as medidas aplicadas a estes setores, depois de se concluir acerca da sua viabilidade, poderão ser implementadas noutras Unidades.

6.4 Substituição de equipamentos a GPL por EE

Como verificado na secção 5.2.5, a implementação do SST nos edifícios QC06, QC07 e QC12 representou uma economia para a Unidade de 62 039.99€. Atualmente, com o avanço da tecnologia, os equipamentos são cada vez mais eficientes, produzindo o mesmo trabalho e consumindo cada vez menos energia. Assim, a modernização dos sistemas de aquecimento, de produção de AQS e dos restantes equipamentos consumidos de GPL, permite que a Unidade seja mais eficiente e mais autónoma.

Uma vez que a geração de EE pode advir das inúmeras fontes renováveis disponíveis na Natureza, ao funcionamento dos equipamentos a EE podem não estar associadas emissões de gases de efeito de estufa. O mesmo não se pode dizer quanto à queima de GPL, uma vez que os processos de transformação de energia acarretam imensas perdas nomeadamente de calor, e emissão de poluição para o meio ambiente. Para além da poupança económica, é possível melhorar a qualidade do ambiente em toda a instalação.

[Página intencionalmente em branco]

7. Conclusões

Atualmente vive-se num período de contenção de custos, onde a palavra de ordem em qualquer debate é racionalização. Fazer mais com menos. A versatilidade de adaptação requerida aos militares, permite construir uma Força Aérea cada vez mais sólida, capaz de desempenhar e cumprir a missão cada vez melhor.

A realização desta dissertação permitiu salientar a importância que a energia elétrica apresenta no nosso quotidiano, o que levanta questões de como a podemos racionalizar. Atuando numa Unidade exemplo percebe-se que o passo inicial passa pela monitorização dos consumos. A primeira ilação que se retira é que sem saber onde, quando e quanto se gasta, não é possível tomar qualquer medida de melhoria. Esta foi a linha de orientação que assentou todo o fundamento da dissertação.

Após analisadas as diferentes formas de produção elétrica, percebe-se que Portugal ainda apresenta um largo potencial de exploração renovável, mas que a aposta nas diferentes tecnologias renováveis não constitui por si só a solução. Há que conciliar juntamente com o aproveitamento dos recursos renováveis endógenos, medidas de diminuição do consumo. A aposta em medidas mais eficientes que remodelam todo o sistema atual de gestão e consumo energético, permite uma redução do mesmo, com um investimento significativamente inferior em comparação à produção renovável.

A sociedade dos dias de hoje é demasiado consumista. A indústria é a responsável maioritária pelo consumo elétrico nacional, e a ela se associa todo o processo de criação e manufatura de equipamentos. Uma maneira de diminuir este consumo elétrico, é reduzir também o consumo de produtos.

Os conceitos como auditoria energética e gestor de energia apresentaram-se como os pilares desta dissertação. Daqui resultaram várias visitas ao CFMTFA com o propósito de se proceder ao levantamento de todo o diagrama energético utilizado. A auditoria energética realizada no CFMTFA permitiu identificar os equipamentos instalados, as fontes e padrões de consumo, o que culminou no final com uma estimativa de poupança anual relativa ao consumo energético.

A energia elétrica na Unidade é recebida pelo PT1, o qual se encontra ligado a mais dois PT para posterior distribuição. Esta ligação entre PT, estabelecida por um sistema tripolar de cabos monopolares subterrâneos é analisada, por forma a concluir sobre a existência, ou não, de perdas no transporte de energia. Conclui-se que não existem perdas relevantes de energia nos ramais de transmissão, grande parte devido à curta distância e correto dimensionamento dos condutores.

A energia elétrica é considerada um produto, estando os seus parâmetros definidos no RQS. Em relação à continuidade do serviço, conclui-se que o serviço por parte do fornecedor externo encontra-se dentro dos limites legais. Quando ocorre uma interrupção de fornecimento de energia por parte do fornecedor externo, entram em funcionamento dois grupos de geradores redundantes que garantem o regular funcionamento da Unidade em caso de emergência. Relativamente à qualidade da onda de tensão, não ocorreu nenhuma violação dos limites estabelecidos para a frequência e para a amplitude da tensão. Em relação à simetria do sistema trifásico, apenas se verificou uma situação em que as tensões não se encontravam equilibradas. Estes aspetos são fundamentais para a satisfação das necessidades energéticas dos equipamentos elétricos.

A instalação prévia do equipamento de monitorização de energia elétrica permitiu a caracterização do consumo elétrico. Para esta caracterização foi selecionado um intervalo de tempo compreendido entre o dia 1 de maio de 2014 e 1 de maio de 2015. Abrangendo um espaço temporal de 365 dias, é possível caracterizar com

algum rigor o consumo energético da Unidade. Durante este período foram consumidos 1541 MWh, o que representou um encargo de 216 215.19€. A desagregação por PT permitiu identificar e agrupar em setores, os barramentos de maior consumo de energia elétrica na Unidade, sendo estes o setor da messe, os edifícios administrativos e de serviços, o departamento escolar e as moradias dos Oficiais e Sargentos. Estes juntamente com o processo de captação, tratamento e distribuição de água e a iluminação exterior representam os setores de maior consumo.

O facto de existir bastante equipamento indutivo instalado, a energia reativa torna-se numa fração de energia passível de ser faturado. Desta forma foi analisada a semana de maior consumo de energia reativa de forma a realçar a importância da compensação por intermédio de condensadores. Após a análise individual de cada PT, afixa-se que caso não existisse compensação deste consumo indutivo por parte de baterias de condensadores, no período de análise a Unidade teria um encargo de 356.10€, cerca de 631% a mais do que efetivamente foi pago durante o período mensal.

De forma a apresentar uma solução para compensar todo este consumo indutivo, é analisado o dia de maior injeção de energia capacitiva, o que possibilitou selecionar bancos de baterias de condensadores. Tendo em conta o encargo deste dia em particular, o investimento seria recuperado em 6 meses.

Com toda a informação recolhida e analisada, é possível apresentar medidas que visem a diminuição do consumo energético em toda a Unidade. Estas estão divididas em classes que compreendem medidas referentes aos aspetos construtivos e técnicos dos edifícios, aos equipamentos utilizados e aos padrões de consumo e de utilização dos sistemas instalados.

Para o setor da messe estima-se que a substituição de dois equipamentos conduza a uma diminuição de 10% do consumo, representado uma economia de 4 304€. A substituição do equipamento de produção de água quente por um sistema de aquecimento através de bombas de calor nos edifícios administrativos e de serviços pode originar economias de 62%, diminuindo cerca de 26 447€ do encargo neste setor. O ajuste do funcionamento do sistema de captação, tratamento e distribuição de água potável em toda a Unidade, pode representar um encaixe de até 4 369€, cerca de 34% do encargo atual. Para o bairro de Oficiais e de Sargentos, a instalação de painéis solares térmicos para produção de AQS, conjugada com uma substituição da iluminação existente por uma mais eficiente, permite uma redução de 68% neste setor residencial, o que representa uma diminuição de 17 280.79€ por ano. A reestruturação do sistema atual de AC no departamento escolar pode originar uma redução de 40% do consumo, o que representa uma economia de 13 248€. A nível da iluminação, esta engloba a interior e a exterior. A substituição das lâmpadas das luminárias interiores por umas mais eficientes, e dos aparelhos de iluminação exterior por iluminação LED, representa uma redução de 36% do consumo energético neste setor transversal a todos os edifícios, ou seja, uma economia de 6 761.02€.

Adicionalmente a estas medidas, englobam-se medidas que dependem diretamente da forma como é utilizado o equipamento, afetando diretamente o comportamento e padrão de consumo de cada um. Porém, uma boa prática de consumo, pode originar uma redução de 5% do consumo anual de uma instalação, o que para o CFMTFA representa uma poupança de 10 806€, sendo que o custo associado a estas medidas é quase nulo. O conjunto de medidas relacionado com os aspetos construtivos dos edifícios, que visa a otimização da envolvente por intermédio da redução da circulação de fluxo de energia, representa também uma diminuição de 5% do encargo energético.

A totalidade do investimento associado a este *mix* de medidas não foi possível quantificar. Porém, a implementação de 3 soluções das medidas ativas e de autoconsumo apresentadas representa um investimento

inicial de 40 362€. A redução do consumo energético para estes setores estima-se que ronde os 50% o que perfaz um total de 90 390€. A nível global, esta redução pode representar uma diminuição de 42% dos encargos atuais. Assim, em vez do atual encargo de 216 125.19€, é possível diminuir este valor para a fasquia dos 125 734€. Adicionalmente, e devido às características das medidas apresentadas, estas poderão vir a ser implementadas também nos setores que não sofreram análise durante a auditoria energética, uma vez que se verificam semelhanças a nível energético. Desta forma, é possível que esta redução dos encargos possa ser superior.

O facto de se ter implementado a solução eficiente de aquecimento por intermédio de bombas de calor, constitui um ponto de partida para a substituição de equipamentos a GPL por energia elétrica. O aumento do consumo de energia elétrica em detrimento da diminuição do consumo de GPL, representou uma economia de 62 039€ durante os meses de março a julho de 2015. Mesmo não estando em funcionamento nos meses mais rigorosos, o SST assumiu-se como uma solução vantajosa para este tipo de edifícios. Como se revela uma solução bastante viável, encontra-se entre outras medidas de aplicação, uma vez que a sua versatilidade e adaptabilidade fazem com que seja alvo de reflexão na tomada de decisão de medidas de eficiência energética.

A realização desta dissertação permitiu reforçar a ideia de que se deve intervir nas diversas U/O/S da FA por forma a aumentar a eficiência energética dos mesmos. É imperativo a tomada de decisão neste tipo de matéria, de maneira a diminuir rapidamente os encargos energéticos. Como se mostrou, é possível diminuir o consumo com pequenas tomadas de atitude e de sensibilização, o que permite um rápido retorno do capital investido. As economias alcançadas deverão ser canalizadas de maneira a caminhar numa vertente cada vez mais sustentável e autónoma, permitindo ter uma Força Aérea moderna e mais eficiente.

[Página intencionalmente em branco]

Referências Bibliográficas

- [1] Direção Geral de Energia e Geologia – Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, “ENERGIA em Portugal”, maio de 2015, Lisboa.
- [2] REN, “Dados Técnicos”, 2013, Lisboa.
- [3] Direção Geral de Energia e Geologia – Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, “Fatura Energética Portuguesa”, abril de 2014, Lisboa.
- [4] ERSE – Gás Natural [Consult. 6 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.erse.pt/pt/gasnatural/Paginas/default.aspx>>, Lisboa.
- [5] Associação de Energias Renováveis, “A eletricidade de origem renovável em Portugal Continental em dezembro de 2014”, janeiro de 2015, Lisboa.
- [6] Enerbuilding.eu - Deco, “A utilização racional de energia em edifícios públicos”, maio de 2008, Lisboa.
- [7] National Energy Policy, “Report of the National Energy Policy Development Group”, maio de 2001.
- [8] JESUS, J. M. F. - Produção de Energia Elétrica. Área Científica de Energia, IST/UTL, Lisboa.
- [9] FREIRE, F. M. C. S – Formas de Energia – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, 5 diapositivos, [Consult. 6 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL:http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/_folders/acetatos/Energia_prim_final.pdf>.
- [10] ÁGUAS, M. – Sebenta de Gestão de Energia. IST/UTL, Lisboa.
- [11] PORDATA - Consumo de energia elétrica: total e por tipo de consumo, 2015, [Consult. 9 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+e%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>>.
- [12] BANCO MUNDIAL - Produto Interno Bruto, 2015, [Consult. 9 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>>.
- [13] EUROSTAT – Dependência energética, 2015, [Consult. 9 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc310&plugin=1>>.
- [14] EUROSTAT – Intensidade energética da economia, 2015, [Consult. 9 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdec360&plugin=1>>.
- [15] MOREIRA DA SILVA, “Moreira da Silva: "Portugal fez a sua parte" na eficiência energética. Falta a Europa”, fevereiro de 2015, [Consult. 9 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: http://www.dinheirovivo.pt/Economia/interior.aspx?content_id=4418155>.
- [16] ERSE, “Caracterização da procura de energia elétrica em 2015”, dezembro de 2014, Lisboa.
- [17] FORÇA AÉREA – Missão, 2015, [Consult. 9 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.emfa.pt/www/pagina-001>>.
- [18] FORÇA AÉREA, “Anuário Estatístico 2014”, 2015, Alfragide.
- [19] Beato de Carvalho, G. – Gestão do Consumo de Energia Elétrica, IESM, 2012.
- [20] ISR - Universidade de Coimbra, MVV Consulting, —Manual Técnico de Gestão de Energia, 2007.
- [21] ABREU, J. W. - Gestão Municipal e Empresarial de Energia em Edifícios Públicos e de Serviços. Lisboa: FCT/UNL. 2010, Dissertação de Mestrado.

- [22] ADENE, “Guia da eficiência energética”, maio de 2010, Lisboa.
- [23] Enerbuilding.eu - Deco, “Eficiência energética nos edifícios residenciais”, maio de 2008, Lisboa.
- [24] ISOLANI, P., “Relatório Certificação Energética”, maio de 2008.
- [25] ADENE, “Programa de Eficiência Energética na Administração Pública ECO.AP”, fevereiro de 2011, Lisboa.
- [26] ECOCASA – Iluminação – Potencial de Poupança, 2015, [Consult. 15 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: http://www.ecocasa.pt/energia_content.php?id=2>.
- [27] EDP – Mapa dos Centros Produtores EDP, 2015, [Consult. 15 mar. 2015]. Disponível em WWW: <URL: http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/mapa_centrosProdutores.php>.
- [28] REN – Centrais Hidroelétricas, 2015, [Consult. 15 mar. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/Paginas/CentraHidroelectricas.aspx>>, Lisboa.
- [29] PAIVA, J. P. S. – Redes de Energia Elétrica, Uma Análise Sistémica, 1.^a ed. Lisboa: IST, 2005. ISBN 9789728469344.
- [30] IEC 60287-1-1:2006, Electric cables – Calculation of the current rating, IEC.
- [31] DELGADO, J. D. B. - Gestão da qualidade total aplicada ao setor do fornecimento da energia elétrica. Coimbra: FCT/UC. 2002, Dissertação de Doutoramento.
- [32] DIRETIVA 85/374/CEE, J.O. n.º L210 (85-08-02), Bruxelas.
- [33] CORREIA DE BARROS, M. T. – Isoladores, Lisboa, 2015, 16 diapositivos.
- [34] DESPACHO N.º 5255/2006, D.R. 2ª série. 8 de março de 2006.
- [35] PORDATA - Consumidores de energia elétrica: total e por tipo de consumo, 2015, [Consult. 16 abr. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.pordata.pt/Municipios/Consumidores+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-18>>.
- [36] NP EN 50160:2001, Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia elétrica, CENELEC.
- [37] OLIVEIRA, L., “Qualidade da Energia Elétricas: Perturbações e Soluções Reparadoras”, Jornadas Técnicas de Eletrotecnia, Universidade do Algarve, 2012.
- [38] BURCHIO, G., LAZAROIU, C., GOLOVANOV, N., ROSCIA, M. - Estimation of Voltage Unbalanced in Power Systems Supplied High Speed Railway. Electrical Power Quality and Utilisation, Journal, Vol. XI, No 2 (2005).
- [39] MICROPLANET – Case Study: Power Quality, 2015, [Consult. 15 set. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.microplanet.com/case-study-power-quality>>.
- [40] EDP, “Manual da Qualidade da Energia Elétrica” em colaboração com o ISR, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Universidade de Coimbra, 2005.
- [41] SCHNEIDER ELECTRIC, “Qualidade de energia Harmónicas”, março de 2003.
- [42] FORÇA AÉREA – Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea, 2015, [Consult. 15 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.emfa.pt/www/unidades.php?o=detalheUnidade&id=52>>.
- [43] INE, I.P./DGEG, “Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010”, 2011, Lisboa.
- [44] U. S. DEPARTMENT OF ENERGY – Residential Sector Energy Consumption, 2015, [Consult. 15 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=2.1.6>>.

- [45] ACCUWEATHER - Alenquer, 2015, [Consult. 18 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.accuweather.com/pt/pt/alenquer/274017/month/274017?monyr=1/01/2015>>.
- [46] WIKIPEDIA – Joseph Moses Juran, 2015, [Consult. 18 fev. 2015]. Disponível em WWW: <URL: http://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_Moses_Juran>.
- [47] WEG, “Manual para Correção do Fator de Potência”, São Paulo, Brasil.
- [48] DESPACHO N.º 7253/2010, D.R. 2ª série. 26 de abril de 2010.
- [49] IEEE Std 1459-2010:2010, IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE.
- [50] IBERDROLA, “Manual de Boas Práticas Energéticas”, 2013, Espanha.
- [51] ROCHA DA ENCARNACÃO, L. J. L. – Compensador de Energia Reativa com Conversor Multinível Trifásico. Lisboa, IST/UTL, 2007, Dissertação de Mestrado.
- [52] ERSE, “Regulamento Tarifário do Setor Elétrico”, dezembro de 2014, Lisboa.
- [53] ERSE – Ciclo Semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental, 2015, [Consult. 18 mar. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanalTodosFornecPtCont.aspx>>.
- [54] INETI, “Edifício SOLAR XXI - Um edifício energeticamente eficiente em Portugal”, Lisboa, 2005, ISBN 978-989-675-007-7.
- [55] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, “Solar XXI – Em direção à energia zero”, maio de 2010.
- [56] PROCEL – Casos de Sucesso, 2015, [Consult. 15 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BAE81473E-313C-4AD9-9E17-54EFA8733AF6%7D&Team=¶ms=itemID=%7BEDB0256A-36C4-4538-9FC1-43930BC5C048%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>.
- [57] REMPER – Equipamentos Hoteleiros, 2015, [Consult. 21 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://rempet.net/forno-unox-xvc505.html>>.
- [58] CASA DA HOTELARIA – Cozinha Industrial, 2015, [Consult. 21 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.casadahotelaria.com/cozinha-industrial/fritadeiras-industriais/fritadeiras-electricas/100046casa0002.html>>.
- [59] EDP – Bombas de Calor, 2015, [Consult. 28 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <https://energia.edp.pt/particulares/servicos/bombas-calor/>>.
- [60] PAINÉIS SOLARES – Perguntas Frequentes, 2015, [Consult. 28 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.paineissolares.gov.pt/faq.html#2d>>.
- [61] CONSUMER ENERGY CENTER – Central Heating Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) Systems, 2015, [Consult. 28 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: http://www.consumerenergycenter.org/residential/heating_cooling/heating_cooling.html>.
- [62] PHILIPS – MASTER TL-D Power Save Set, 2015, [Consult. 23 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.ecat.lighting.philips.pt/l/lampadas-profissionais/fluorescent-lamps-and-starters/tl-d/master-tl-d-power-saver-set/40514/cat/?t1=ProductList>>.

- [63] GITLIGHTING - Fluorescent Lamp MASTER TL-D Power Save Set, 2015, [Consult. 23 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.gitlighting.com/philips/master-tl-d-power-saver-set>>.
- [64] NOGUEIRA, E. S. - Iluminação com LEDs: Alternativa de substituição da Instalação existente da subestação Jataí, Rio de Janeiro, Brasil, 2011, Dissertação para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.
- [65] LLUMAR, “Window Filme Performance Data”, Estados Unidos da América, janeiro de 2015.
- [66] ISGREEN – Sensor de presença versus Sistema Inteligente de Iluminação, 2015, [Consult. 24 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://isgreen.eu/vantagens-dum-sistema-inteligente-de-iluminacao-versus-um-sensor-de-presenca/>>.
- [67] GENERAL ELECTRIC - GradiLux™ – Estabilizadores-reguladores de fluxo luminoso, [Consult. 25 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: http://www.gepowercontrols.com/pt/product_portfolio/energy_efficiency/gradilux/index.html>.
- [68] IBERDROLA – Conselhos de Poupança, [Consult. 25 jul. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.iberdrola.pt/02sicb/corporativa/iberdrola?IDPAG=PTWCOABOENESAV&codCache=14286389745869#1>>.
- [69] FORÇA AÉREA, “Relatório Anual de Atividades 2013”, 2014, Alfragide.
- [70] SANTOS, C. R. A. – Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética. Porto, FEUP, 2011, Dissertação de Mestrado.
- [71] LUCIDENERGY – How It Works, 2015, [Consult. 10 ago. 2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.lucidenergy.com/how-it-works/>>.
- [72] Presidência do Conselho de Ministros, 2004. *Aprova o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC)* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de julho), Lisboa: Diário da República.
- [73] Presidência do Conselho de Ministros, 2005. *Aprova a Estratégia Nacional para a Energia (ENE)* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de outubro), Lisboa: Diário da República.
- [74] Presidência do Conselho de Ministros, 2006. *Aprova o Programa Nacional para as Alterações Climáticas de 2006 (PNAC 2006)* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de agosto), Lisboa: Diário da República.
- [75] Presidência do Conselho de Ministros, 2006. *Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)* (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril), Lisboa: Diário da República.
- [76] Presidência do Conselho de Ministros, 2008. *Aprova as novas metas para 2007 do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2006)* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de janeiro), Lisboa: Diário da República.
- [77] Presidência do Conselho de Ministros, 2008. *Aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE 2008-2015)* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio), Lisboa: Diário da República.
- [78] Presidência do Conselho de Ministros, 2011. *Lança o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública — ECO.AP* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de janeiro), Lisboa: Diário da República.
- [79] Presidência do Conselho de Ministros, 2006. (Decreto-Lei n.º 118/2013, de 28 de agosto), Lisboa: Diário da República.

Anexo A

Tabela A.1 – Energia ativa entregue a cada PT

Mês	T_h [h]	Energia [kWh]		
		PT1	PT2	PT3
abril	492	21760.44	13494.00	55519.56
maio	744	31788.00	20810.88	54909.94
junho	720	32311.92	22158.63	58914.44
julho	744	35749.06	24053.00	57496.00
agosto	744	33083.31	17167.75	48880.50
setembro	720	34193.75	19861.25	51548.50
outubro	744	31835.94	19360.00	53282.25
novembro	720	37088.63	22408.00	62190.88
dezembro	744	44316.31	29734.25	62413.13

[Página intencionalmente em branco]

Anexo B

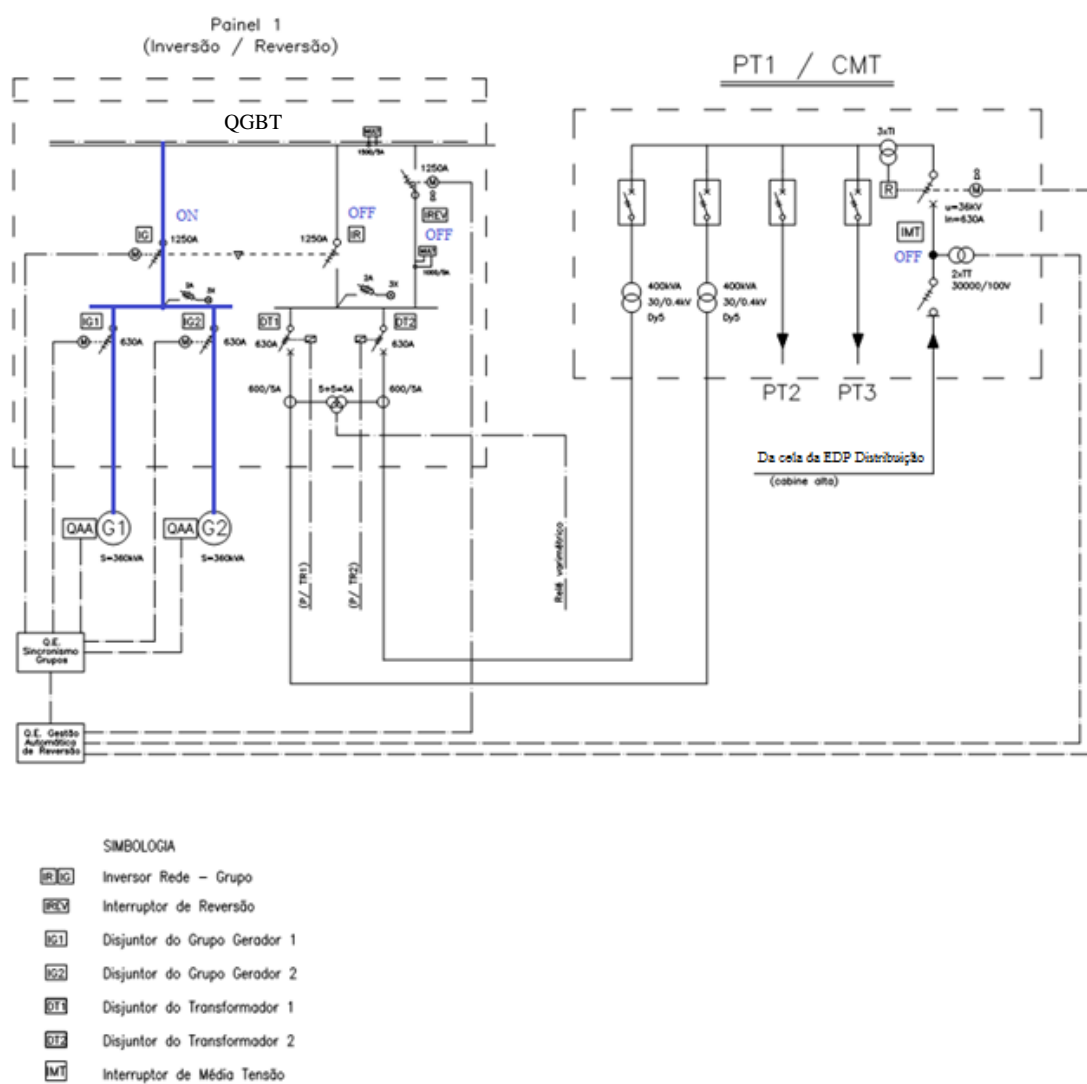


Figura B.1 - Inversão

[Página intencionalmente em branco]

Anexo C

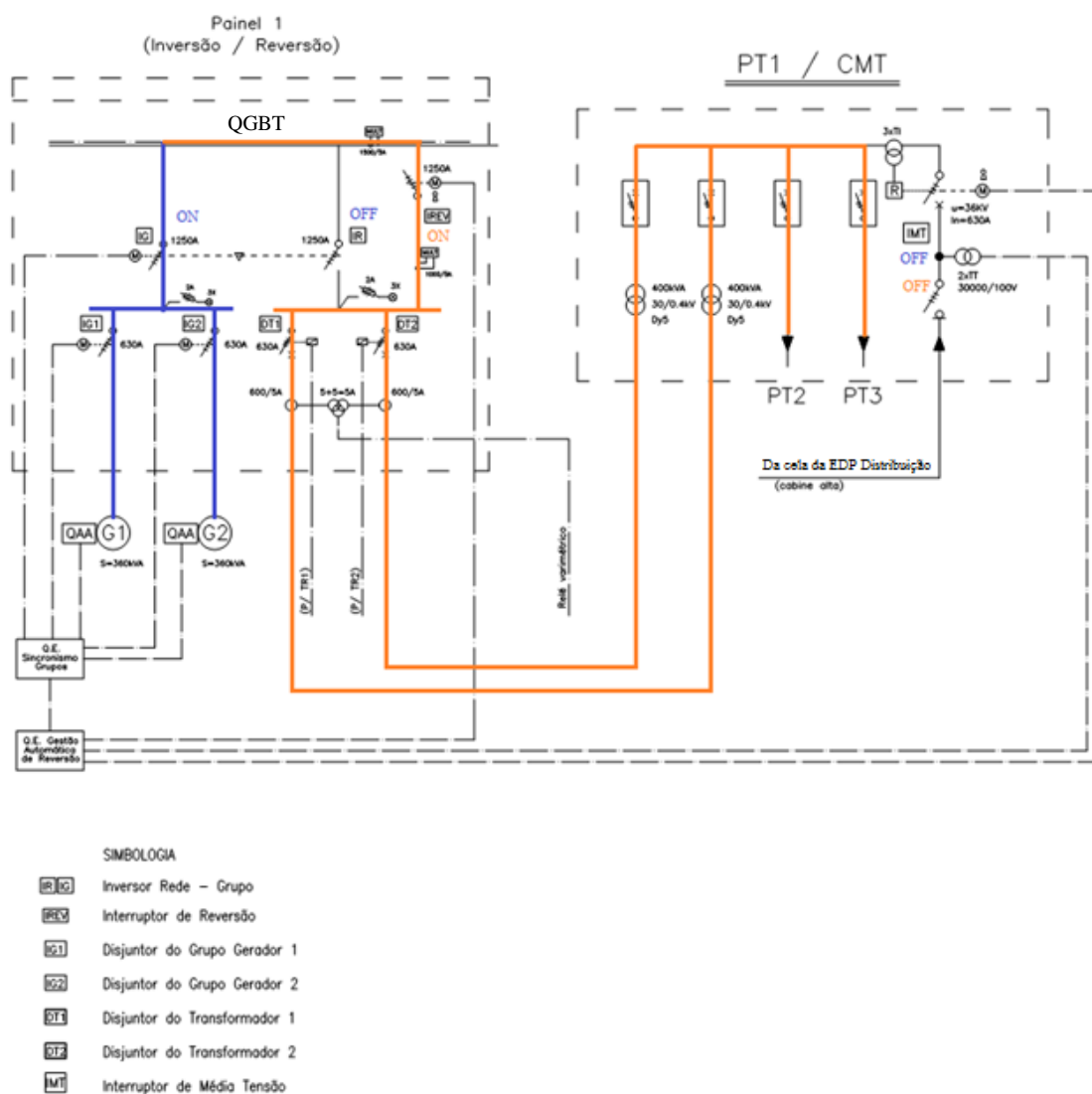


Figura C.1 - Reversão

[Página intencionalmente em branco]

Anexo D

Tabela D.1 – Faturação de EQ na semana 5 a 11 de janeiro de 2015 no PT1_1

	PT1							
	Barramento	QE_C E_PT	Comando_ QG12_CT T_CGD	QE19_QE20_ Messe_Oficiais	Hangar12_ TorreMicro	Bairrro_O ficiais_1	Ilum_Ext erior_2	TOTAL
5-Jan	EQ[kvarh]	0.32	130.52	19.41	0.00	6.42	20.28	
	EP[kWh]	48.33	572.55	252.49	9.82	182.11	46.84	
	tg φ	0.01	0.23	0.08	0.00	0.04	0.43	
	FMulti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 0.53	€ 0.53
6-Jan	EQ[kvarh]	1.32	112.62	14.58	0.00	5.67	20.38	
	EP[kWh]	50.88	458.88	263.16	9.78	162.52	48.78	
	tg φ	0.03	0.25	0.06	0.00	0.03	0.42	
	FMulti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 0.54	€ 0.54
7-Jan	EQ[kvarh]	0.58	121.00	12.74	0.00	9.34	19.74	
	EP[kWh]	54.65	571.27	275.14	9.83	239.42	47.97	
	tg φ	0.01	0.21	0.05	0.00	0.04	0.41	
	FMulti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 0.52	€ 0.52
8-Jan	EQ[kvarh]	0.38	106.07	13.32	0.00	9.81	19.23	
	EP[kWh]	50.01	554.12	284.68	9.81	205.13	36.50	
	tg φ	0.01	0.19	0.05	0.00	0.05	0.53	
	FMulti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 1.52	€ 1.52
9-Jan	EQ[kvarh]	0.39	97.88	12.79	0.00	6.81	21.73	
	EP[kWh]	46.89	473.77	251.34	9.76	139.10	37.84	
	tg φ	0.01	0.21	0.05	0.00	0.05	0.57	
	FMulti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 1.71	€ 1.71
10-Jan	EQ[kvarh]	1.20	22.77	7.12	0.00	2.50	9.36	
	EP[kWh]	22.95	80.89	111.82	4.01	81.34	16.40	
	tg φ	0.05	0.28	0.06	0.00	0.03	0.57	
	FMulti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 0.74	€ 0.74

Tabela D.2 - Faturação de EQ na semana 5 a 11 de janeiro de 2015 no PT1_2

	PT1						
	Barramento	Bairro_Oficiais_2	Lavandaria_Caldeiraria	Aloj_Officiais_QE6	Ilum_Exterior_1	EMMET_Apoio_Aqui_Em_b	TOTAL
5-Jan	EQ[kvarh]	28.67	13.55	5.54	46.63	83.24	
	EP [kWh]	83.81	133.16	7.04	30.54	530.95	
	tg φ	0.34	0.10	0.79	1.53	0.16	
	FMulti	0.33	0.00	3.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ 0.25	€ -	€ 0.44	€ 3.68	€ -	€ 4.36
6-Jan	EQ[kvarh]	25.85	43.39	5.74	48.30	88.87	
	EP [kWh]	78.92	149.66	8.51	31.71	520.55	
	tg φ	0.33	0.29	0.67	1.52	0.17	
	FMulti	0.33	0.00	3.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ 0.22	€ -	€ 0.45	€ 3.81	€ -	€ 4.49
7-Jan	EQ[kvarh]	29.93	72.19	8.11	47.64	133.68	
	EP [kWh]	87.01	171.52	13.48	31.21	632.20	
	tg φ	0.34	0.42	0.60	1.53	0.21	
	FMulti	0.33	1.00	3.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ 0.26	€ 1.90	€ 0.64	€ 3.76	€ -	€ 6.56
8-Jan	EQ[kvarh]	29.78	43.59	7.90	46.78	84.25	
	EP [kWh]	96.85	158.94	11.02	30.65	604.30	
	tg φ	0.31	0.27	0.72	1.53	0.14	
	FMulti	0.33	0.00	3.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ 0.26	€ -	€ 0.62	€ 3.69	€ -	€ 4.57
9-Jan	EQ[kvarh]	25.75	30.79	11.87	54.62	45.89	
	EP [kWh]	98.38	141.77	9.79	35.48	436.61	
	tg φ	0.26	0.22	1.21	1.54	0.11	
	FMulti	0.00	0.00	3.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ 0.94	€ 4.31	€ -	€ 5.25
10-Jan	EQ[kvarh]	11.61	7.76	3.41	21.45	-11.06	
	EP [kWh]	36.46	22.03	2.03	14.15	70.55	
	tg φ	0.32	0.35	1.68	1.52	-0.16	
	FMulti	0.33	0.33	3.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ 0.10	€ 0.07	€ 0.27	€ 1.69	€ -	€ 2.13

Tabela D.3 - Faturação de Eq na semana 5 a 11 de janeiro de 2015 no PT2_1

PT2									
	Barramento	P_L2_H6	Estacao_S ervico	Q_Geral_ H4	Dep_H20_ Oficiais	P_C4_Ab asteciment o	Cal_Antigo	TOTAL	
5-Jan	Eq[kvarh]	105.61	1.35	22.27	4.09	-15.51	18.20		
	Ep [kWh]	493.07	2.28	178.64	4.40	62.12	148.42		
	tg φ	0.21	0.59	0.12	0.93	-0.25	0.12		
	FMulti	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00		
	Preço [€]	€ -	€ 0.11	€ -	€ 0.32	€ -	€ -	€ -	€ 0.43
6-Jan	Eq[kvarh]	92.02	1.40	26.02	1.23	-11.17	24.12		
	Ep [kWh]	472.17	2.22	175.44	1.33	43.32	147.86		
	tg φ	0.19	0.63	0.15	0.93	-0.26	0.16		
	FMulti	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00		
	Preço [€]	€ -	€ 0.11	€ -	€ 0.10	€ -	€ -	€ -	€ 0.21
7-Jan	Eq[kvarh]	130.96	0.37	17.28	1.22	-11.89	23.60		
	Ep [kWh]	562.42	0.65	168.08	1.34	47.93	164.63		
	tg φ	0.23	0.57	0.10	0.91	-0.25	0.14		
	FMulti	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00		
	Preço [€]	€ -	€ 0.03	€ -	€ 0.10	€ -	€ -	€ -	€ 0.13
8-Jan	Eq[kvarh]	123.56	0.43	39.15	1.19	-9.16	24.41		
	Ep [kWh]	633.28	0.73	200.32	1.31	50.44	166.99		
	tg φ	0.20	0.60	0.20	0.91	-0.18	0.15		
	FMulti	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00		
	Preço [€]	€ -	€ 0.03	€ -	€ 0.09	€ -	€ -	€ -	€ 0.13
9-Jan	Eq[kvarh]	88.06	2.65	36.24	1.41	-12.48	32.41		
	Ep [kWh]	503.67	4.46	147.49	1.39	59.71	166.91		
	tg φ	0.17	0.59	0.25	1.01	-0.21	0.19		
	FMulti	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00		
	Preço [€]	€ -	€ 0.21	€ -	€ 0.11	€ -	€ -	€ -	€ 0.32
10-Jan	Eq[kvarh]	-19.23	0.00	1.57	0.58	-1.40	4.43		
	Ep [kWh]	67.52	0.00	7.91	0.56	5.03	55.59		
	tg φ	-0.28	0.00	0.20	1.04	-0.28	0.08		
	FMulti	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00		
	Preço [€]	€ -	€ -	€ -	€ 0.05	€ -	€ -	€ -	€ 0.05

Tabela D.4 - Faturação de Eq na semana 5 a 11 de janeiro de 2015 no PT2_2

	PT2							
	Barramento	Q_Geral_H3	QGBT_L7_BUDA	QGOG_Ofi_Gerais	Secao_Obras	AD_L6_MMT	Paois_Canis_E_Servico	TOTAL
5-Jan	Eq[kvarh]	52.46	113.26	9.60	0.15	7.02	0.00	
	EP [kWh]	114.17	395.66	101.53	3.30	68.56	0.84	
	tg φ	0.46	0.29	0.09	0.05	0.10	0.00	
	FMulti	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Preço [€]	€ 1.38	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 1.38
6-Jan	Eq[kvarh]	43.47	136.79	8.48	0.19	9.74	0.00	
	EP [kWh]	95.29	461.99	85.00	2.57	66.19	0.82	
	tg φ	0.46	0.30	0.10	0.07	0.15	0.00	
	FMulti	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Preço [€]	€ 1.14	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 1.14
7-Jan	Eq[kvarh]	47.04	187.02	10.42	0.24	12.65	0.00	
	EP [kWh]	102.76	539.36	110.95	3.54	78.93	0.62	
	tg φ	0.46	0.35	0.09	0.07	0.16	0.00	
	FMulti	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Preço [€]	€ 1.24	€ 1.62	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 2.86
8-Jan	Eq[kvarh]	61.13	148.98	17.67	0.12	12.41	0.00	
	EP [kWh]	131.79	476.86	114.20	2.69	70.30	0.63	
	tg φ	0.46	0.31	0.15	0.05	0.18	0.00	
	FMulti	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Preço [€]	€ 1.61	€ 1.29	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 2.90
9-Jan	Eq[kvarh]	34.50	88.95	22.04	0.17	11.98	0.00	
	EP [kWh]	86.74	354.37	66.15	3.22	53.91	0.61	
	tg φ	0.40	0.25	0.33	0.05	0.22	0.00	
	FMulti	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	
	Preço [€]	€ 0.30	€ -	€ 0.19	€ -	€ -	€ -	€ 0.49
10-Jan	Eq[kvarh]	0.82	3.99	2.34	0.05	2.43	0.00	
	EP [kWh]	16.55	81.50	1.49	0.69	3.35	0.24	
	tg φ	0.05	0.05	1.57	0.08	0.72	0.00	
	FMulti	0.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	
	Preço [€]	€ -	€ -	€ 0.18	€ -	€ 0.19	€ -	€ 0.38

Tabela D.5 - Faturação de Eq na semana 5 a 11 de janeiro de 2015 no PT3_1

	PT3													
	Barramento		C_Passeio_QC4		Enf_Camaratas_PA		Iluminacao_Exterior		Messe_Alunos		Alojamentos		TOTAL	
5-Jan	Eq[kvarh]	134.53		56.52		29.69		287.00		92.47				
	EP [kWh]	197.97		151.11		22.92		739.19		139.96				
	tg ϕ	0.68		0.37		1.30		0.39		0.66				
	FMulti	3.00		0.33		3.00		0.33		3.00				
	Preço [€]	€	10.61	€	0.49	€	2.34	€	2.49	€	7.30	€	23.23	
6-Jan	Eq[kvarh]	148.38		61.23		30.82		269.61		101.08				
	EP [kWh]	206.11		160.23		25.23		668.75		139.56				
	tg ϕ	0.72		0.38		1.22		0.40		0.72				
	FMulti	3.00		0.33		3.00		1.00		3.00				
	Preço [€]	€	11.71	€	0.53	€	2.43	€	7.09	€	7.98	€	29.74	
7-Jan	Eq[kvarh]	186.38		61.77		29.55		294.06		98.22				
	EP [kWh]	245.97		183.60		21.64		723.22		135.59				
	tg ϕ	0.76		0.34		1.37		0.41		0.72				
	FMulti	3.00		0.33		3.00		1.00		3.00				
	Preço [€]	€	14.70	€	0.54	€	2.33	€	7.73	€	7.75	€	33.06	
8-Jan	Eq[kvarh]	180.22		55.57		29.44		294.00		93.27				
	EP [kWh]	263.63		172.91		22.11		771.44		130.90				
	tg ϕ	0.68		0.32		1.33		0.38		0.71				
	FMulti	3.00		0.33		3.00		0.33		3.00				
	Preço [€]	€	14.22	€	0.48	€	2.32	€	2.55	€	7.36	€	26.93	
9-Jan	Eq[kvarh]	146.61		43.80		29.44		251.27		74.31				
	EP [kWh]	503.67		141.46		21.65		741.53		119.19				
	tg ϕ	0.29		0.31		1.36		0.34		0.62				
	FMulti	0.00		0.33		3.00		0.33		3.00				
	Preço [€]	€	-	€	0.38	€	2.32	€	2.18	€	5.86	€	10.75	
10-Jan	Eq[kvarh]	63.61		11.85		15.04		58.92		28.54				
	EP [kWh]	75.19		27.84		11.13		148.09		37.76				
	tg ϕ	0.85		0.43		1.35		0.40		0.76				
	FMulti	3.00		1.00		3.00		0.33		3.00				
	Preço [€]	€	5.02	€	0.31	€	1.19	€	0.51	€	2.25	€	9.28	

Tabela D.6 - Faturação de E_Q na semana 5 a 11 de janeiro de 2015 no PT3_2

	PT3													
	Barramento		Furo_Agua		Ginasio		Bairro_Sar gentos		Cam_Alun os_Etar		Aloj_Clube_Sa rgentos		TOTAL	
5-Jan	Eq[kvarh]		159.54		55.68		10.80		74.38		137.95			
	Ep [kWh]		247.11		96.29		52.75		91.49		192.43			
	tg ϕ		0.65		0.58		0.20		0.81		0.72			
	FMulti		3.00		3.00		0.00		3.00		3.00			
	Preço [€]		€	12.59	€	4.39	€	-	€	5.87	€	10.88	€	33.73
6-Jan	Eq[kvarh]		72.42		70.61		0.45		76.58		144.30			
	Ep [kWh]		119.83		110.45		69.17		107.33		187.76			
	tg ϕ		0.60		0.64		0.01		0.71		0.77			
	FMulti		3.00		3.00		0.00		3.00		3.00			
	Preço [€]		€	5.71	€	5.57	€	-	€	6.04	€	11.39	€	28.71
7-Jan	Eq[kvarh]		220.86		49.74		46.21		73.90		139.84			
	Ep [kWh]		380.92		99.54		69.90		104.84		212.19			
	tg ϕ		0.58		0.50		0.66		0.70		0.66			
	FMulti		3.00		1.00		3.00		3.00		3.00			
	Preço [€]		€	17.43	€	1.31	€	3.65	€	5.83	€	11.03	€	39.24
8-Jan	Eq[kvarh]		199.79		67.94		23.79		67.43		138.80			
	Ep [kWh]		379.27		93.31		63.55		117.03		202.82			
	tg ϕ		0.53		0.73		0.37		0.58		0.68			
	FMulti		3.00		3.00		0.33		3.00		3.00			
	Preço [€]		€	15.76	€	5.36	€	0.21	€	5.32	€	10.95	€	37.60
9-Jan	Eq[kvarh]		170.09		21.02		43.54		45.18		129.76			
	Ep [kWh]		320.05		51.02		60.83		75.75		171.75			
	tg ϕ		0.53		0.41		0.72		0.60		0.76			
	FMulti		3.00		1.00		3.00		3.00		3.00			
	Preço [€]		€	13.42	€	0.55	€	3.44	€	3.56	€	10.24	€	31.21
10-Jan	Eq[kvarh]		31.80		2.52		17.44		15.40		63.31			
	Ep [kWh]		57.45		16.69		22.36		38.23		62.49			
	tg ϕ		0.55		0.15		0.78		0.40		1.01			
	FMulti		3.00		0.00		3.00		1.00		3.00			
	Preço [€]		€	2.51	€	-	€	1.38	€	0.40	€	5.00	€	9.29

Tabela D.7 – Sumário de faturação de E_Q

	PT1		PT2		PT3		TOTAL	
5-Jan	€	4.90	€	1.81	€	56.97	€	63.67
6-Jan	€	5.02	€	1.35	€	58.45	€	64.82
7-Jan	€	7.08	€	2.99	€	72.30	€	82.36
8-Jan	€	6.09	€	3.03	€	64.54	€	73.66
9-Jan	€	6.96	€	0.81	€	41.96	€	49.73
10-Jan	€	2.87	€	0.42	€	18.57	€	21.86
TOTAL	€	32.92	€	10.41	€	312.78	€	356.10

Anexo E

Tabela E.1 – Equipamentos levantados na auditoria energética ao CFMTFA

Equipamentos	Potência [kW]	Energia		Quantidade	Utilização [h]	Local
		EE	Gás			
Frigorífico	-	X		2	24	QB08
Basculantes/Fritadeiras	16.5	X		2	4	
Forno	31.5	X		3	4	
Fornos Verticais	-	X		2	4	
Marmitas	-		X	8	6	
UTA	2.5	X		1	12	
Compressor frio	1.8	X		5	24	QB15
Compressor frio	2.2	X		4	24	
UTA		X		1		ELI
UTA		X		1		QA23
UTA		X		1		QA24
UTA		X		1		QB03
UTA		X		1		QB04
UTA		X		1		QB05
UTA		X		1		QB10
UTA		X		1		QB11
UTA		X		1		QB12
UTA		X		1		QB13
UTA		X		1		QB14
AC		X		4	6	QC21
AC		X		2	6	QC11
AC		X		1	6	QA25
AC		X		2	6	QE22
AC		X		2	6	QC09
AC		X		7	6	QC01
AC		X		21	6	QC13
AC		X		12	6	QC07
AC		X		2	6	QC20
AC		X		1	6	QC15
AC		X		4	6	AI03
AC		X		1	6	QC03
AC		X		3	6	QD03
AC		X		8	6	AI07
AC		X		2	6	AH04

AC		X		31	6	AH05
AC		X		41	6	AH06
AC		X		1	4	QB08
AC		X		2	6	QD02
AC		X		2	10	GF02
AC		X		1	6	QC22
AC		X		2	8	AO07
Bomba de captação	18.5	X		2	4	QA29
Bomba de tratamento	15	X		1	4	Furo n.º 1
Lâmpada	0.058	X			8	CFMTFA
Lâmpada	0.036	X			8	CFMTFA
Lâmpada	0.018	X			8	CFMTFA
Lâmpada	0.07	X		218	10	Exterior

Anexo F

A iluminação interior corresponde a 5% do consumo de EE em toda a Unidade:

$$E_{Ilumin interior} = 0.05 * 1\,540\,995 = 77\,049.78 \text{ kWh}$$

No CFMTFA existem lâmpadas de variada potência, sendo a maioria de 36W. Para o cálculo da potência instalada correspondente à iluminação interior, assume-se que o período de funcionamento é diário e de 8 horas.

$$P_{Ilumin interior} = \frac{77\,049.78 * 1000}{365 * 8} = 26\,386.91 \text{ W}$$

Para se quantificar a totalidade das lâmpadas existentes, assume-se que a média da potência de cada uma é de 36W. Desta forma totalizam-se 733 equipamentos.

$$Número_{equipamentos} = \frac{26\,386.91}{36} = 733$$

Tabela F.1 – Iluminação interior atual

Consumo		
Energia [kWh]	Potência [W]	Encargo [€]
77 049.78	26 286.91	10 806.26

Sabendo que a substituição das lâmpadas TL-D por MASTER TL-D Power Save Set introduz uma redução de até 30% do consumo, o investimento inicial é calculado da seguinte forma:

Tabela F.2 – Iluminação ECO proposta

Iluminação ECO				
Energia [kWh]	Encargo [€]	Quantitativo	Preço por Equipamento [€]	Investimento Inicial [€]
53 934.85	7 564.38	733	11.84	8 678.36

Esta proposta representa uma economia de até 3 241.88€, podendo o investimento inicial ser recuperado em 2.7 anos.

O mesmo raciocínio é utilizado para a iluminação exterior. Esta representa 3.62% do consumo de EE do CFMTFA.

$$E_{Ilumin exterior} = 0.0362 * 1\,540\,995 = 55\,759.66 \text{ kWh}$$

Assumindo que o funcionamento destes equipamentos é de 10 horas por dia, durante o todo o ano, calcula-se a potência instalada.

$$P_{Ilumin interior} = \frac{55\,759.66 * 1000}{365 * 10} = 15\,276.62 \text{ W}$$

As lâmpadas de vapor de sódio que proporcionam iluminação dos espaços exteriores possuem uma potência unitária de 70W, sendo totalizados 218 equipamentos.

$$Número_{equipamentos} = \frac{15\,276.68}{70} = 218$$

Tabela F.3 – Iluminação exterior atual

Consumo		
Energia [kWh]	Potência [W]	Encargo [€]
55 759.66	15 276.62	7 820.31

A medida apresentada proporciona economias de até 45% do consumo. Desta forma, para o cálculo do investimento inicial vem:

Tabela F.4 – Iluminação LED SP90 proposta

Iluminação LED SP90				
Energia [kWh]	Encargo [€]	Quantitativo	Preço por Equipamento [€]	Investimento Inicial [€]
30 667.81	4 301.17	218	69	15 058.38

Esta medida pode proporcionar uma economia de até 3 519.14€, sendo o investimento inicial recuperado em 4.28 anos.

Anexo G

A quantificação da poupança expectável relativa às medidas ativas e de autoconsumo encontra-se na tabela seguinte, tendo por base as fontes bibliográficas consultadas.

Tabela G.1 – Comparação entre consumo atual e consumo após implementação de medidas

Setor	Consumo Atual		Redução do Consumo		Consumo com medidas
	[%]	[€]	[%]	[€]	[€]
A - Messe	19.92%	€ 43 047.40	10%	€ 4 304.74	€ 38 742.66
B - Edifícios Administrativos e de Serviços	19.82%	€ 42 830.30	62%	€ 26 447.71	€ 16 382.59
C - Furo de Água	5.95%	€ 12 851.99	34%	€ 4 369.68	€ 8 482.31
D - Bairro de Oficiais e Sargentos	11.83%	€ 25 563.29	68%	€ 17 280.79	€ 8 282.51
E -Departamento Escolar	15.32%	€ 33 120.54	40%	€ 13 248.22	€ 19 872.33
F - Lavandaria e Caldeiraria	1.73%	€ 3 745.30	0%	-	€ 3 745.30
G -Iluminação	8.62%	€ 18 626.57	36%	€ 6 761.02	€ 11 865.55
TOTAL	83.19%	€179 785.40	40%	€ 60 244.02	€ 107 373.25

A este tipo de medidas, podemos acrescentar uma redução de 10% do consumo energético, devido à implementação das medidas de gestão, passivas e comportamentais. Desta forma alcançam-se os 50% de redução do consumo, o que perfaz uma economia de 90 390€.

A nível global, este valor representa uma economia de 42%, podendo o atual encargo com a EE ser reduzido para os 125 734.50€.

$$Encargo_{eficiente} = 216\,125.19 - 90\,390.69 = 125\,734.50€$$

$$Economia = \frac{90\,390.69}{216\,125.19} = 42\%$$

[Página intencionalmente em branco]

Anexo H

Tabela H.1 – Lista de peças desenhadas

Nº Des.	Designação	Escala
01/02	Identificação de Edifícios	1:5000
02/02	Distribuição de Energia em Média Tensão Implantação de PT e traçado de Ramais	1:2000